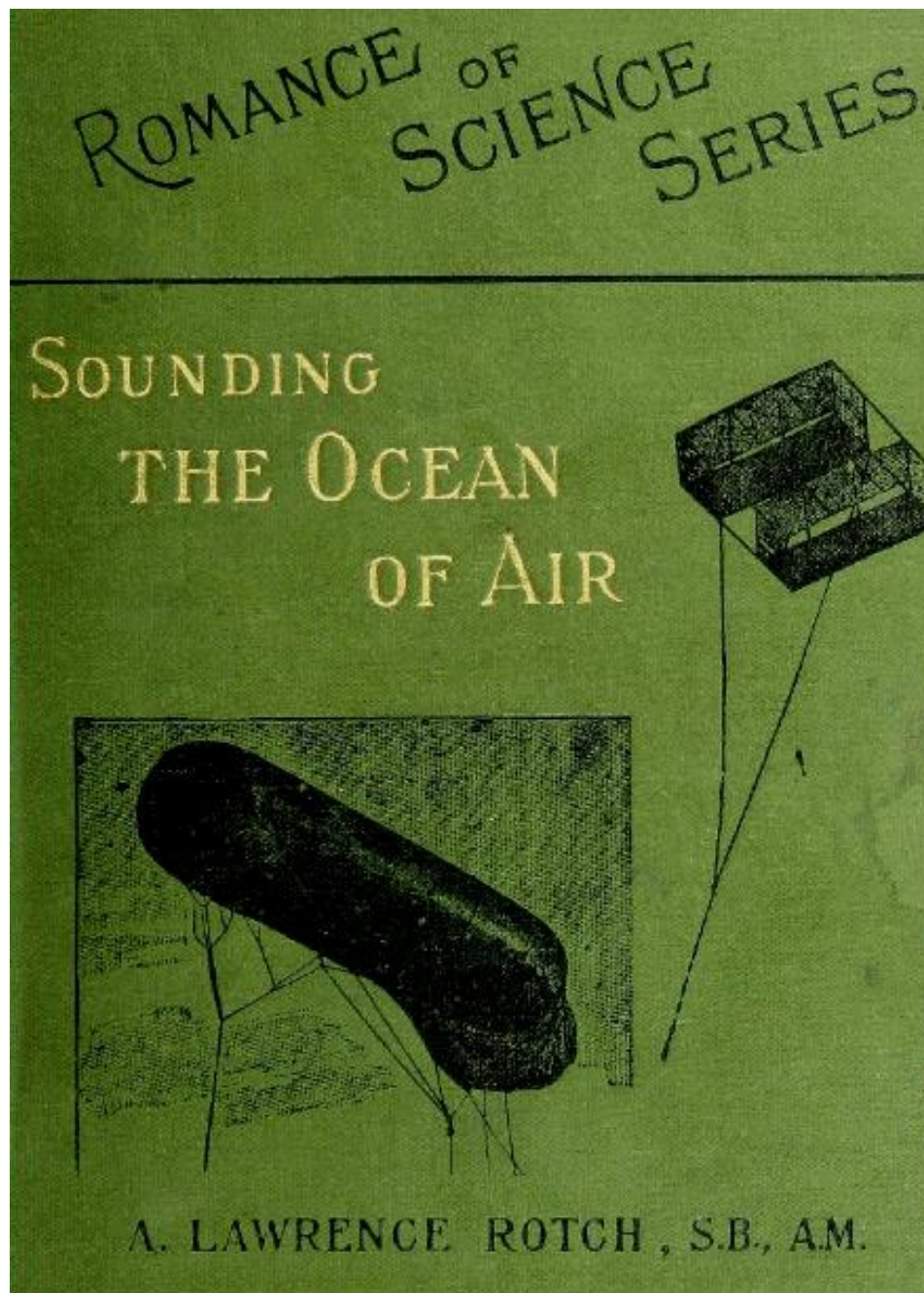


Зондирование воздушного океана.
Шесть лекций, прочитанных в
Бостонском институте Лоуэлла в
декабре 1898 года

Эббот Лоуренс Ротч



Электронная книга проекта "Гутенберг" о зондировании воздушного океана

Эта электронная книга предназначена для использования любым человеком в любой точке Соединенных Штатов и большинства других частей мира бесплатно и практически без каких-либо ограничений. Вы можете скопировать его, раздать или повторно использовать в соответствии с условиями лицензии Project Gutenberg, прилагаемой к этой книге, или онлайн по адресу www.gutenberg.org. Если вы находитесь за пределами Соединенных Штатов, вам необходимо ознакомиться с законами страны, в которой вы находитесь, прежде чем использовать эту электронную книгу.

Название: Зондирование воздушного океана

Автор: Эббот Лоуренс Ротч

Дата выхода: 29 мая 2011 г. [Электронная книга № 36252]

Последнее обновление: 1 февраля 2021 г.

Язык: Английский

Авторы: Крис Карноу, Том Косма и команда онлайн-корректоров

*** ЗАПУСК ПРОЕКТА ЭЛЕКТРОННОЙ КНИГИ ГУТЕНБЕРГА "ЗОНДИРОВАНИЕ ВОЗДУШНОГО ОКЕАНА" ***

РОМАНТИКА НАУКИ.

ЗОНДИРОВАНИЕ ВОЗДУШНОГО ОКЕАНА

ЭТО ШЕСТЬ ЛЕКЦИЙ,

ПРОЧИТАННЫХ В БОСТОНСКОМ ИНСТИТУТЕ ЛОУЭЛЛА В ДЕКАБРЕ 1898 ГОДА

АВТОР: А. ЛОУРЕНС РОТЧ, S.B., A.M.,

ДИРЕКТОР МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ БЛУ ХИЛЛ, МАССАЧУСЕТС, США, И ЧЛЕН МЕЖДУНАРОДНОГО КОМИТЕТА ПО ОБЛАКАМ И АЭРОНАВТИКЕ.

ОПУБЛИКОВАНО ПОД РУКОВОДСТВОМ ГЛАВНОГО ЛИТЕРАТУРНОГО КОМИТЕТА.

ЛОНДОН:

ОБЩЕСТВО СОДЕЙСТВИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЮ ХРИСТИАНСКИХ ЗНАНИЙ,
НОРТУМБЕРЛЕНД-АВЕНЮ, округ КОЛУМБИЯ; 43, КУИН-ВИКТОРИЯ-СТРИТ, Округ КОЛУМБИЯ

Брайтон: 129, Северная улица.

Нью-Йорк: E. & J. B. YOUNG & CO.

1900

Эта небольшая книга с благодарностью посвящается покойному ОГАСТЕСУ ЛОУЭЛЛУ, эсквайру
Из БОСТОНА, США, КОТОРЫЙ, БУДУЧИ ПОПЕЧИТЕЛЕМ ИНСТИТУТА ЛОУЭЛЛА, ПОЗВОЛИЛ
УЧЕНЫМ ДВУХ КОНТИНЕНТОВ ПРЕДСТАВИТЬ РЕЗУЛЬТАТЫ СВОИХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ОБЩЕСТВЕННОСТИ

CORRIGENDA

Страница 50, строка 11, *вместо* слова "изоляция" *читать* "инсоляция."

Страница 59, строка 21, *перед insert* "противоположным".

Страница 112, строка 2; страница 115, строки 2 и 15, и Указатель, страницы 175 и 183, *вместо* "Viollé" *читать* "Viole."

Страница 112, строка 23; страница 113, строка 6, и Указатель, страница 181, *вместо* "Muntz" *читать* "Müntz".

Страница 123, последняя строка, *вместо* "1889" *читать* "1891."

Указатель, страница 177, *вместо* "Cotte (T.)" *читать* "Cotte (L.)."

Указатель, страница 179, *после* "Ханн (Дж.), 36 лет", *добавить* "173".

Указатель, стр. 179, *вместо* "Хеллман (Г.)" *читать* "Хеллманн (Г.)."

Указатель, стр. 181, *после* "Лэнгли (С. П.)" *вставить* "28".

[Примечание автора: Эти исправления были внесены в текущую версию]

Содержание

ГЛАВА	СТРАНИЦА
I. АТМОСФЕРА —ДРЕВНИЕ И СОВРЕМЕННЫЕ ЗНАНИЯ—МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	9
II. ОБЛАКА—ФОРМИРОВАНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ—ИЗМЕРЕНИЯ На БЛУ ХИЛЛ—МЕЖДУНАРОДНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ	38
III. ВОЗДУШНЫЕ ШАРЫ—ЗАМЕТНЫЕ ВОСХОЖДЕНИЯ И ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ—ВОЗДУШНЫЕ ШАРЫ В НЕВОЛЕ	68
IV. БАЛЛОНЫ-ЗОНДЫ для БОЛЬШИХ ВЫСОТ—МЕЖДУНАРОДНЫЕ ВОСХОЖДЕНИЯ	98
Против ВОЗДУШНЫЕ ЗМЕИ —ИСТОРИЯ И ПРИМЕНЕНИЕ В МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ЦЕЛЯХ На БЛУ-ХИЛЛ И В ДРУГИХ МЕСТАХ	117
VI. РЕЗУЛЬТАТЫ ПОЛЕТОВ ВОЗДУШНЫХ ЗМЕЕВ На BLUE HILL-БУДУЩАЯ РАБОТА	145
ИНДЕКС	175

СПИСОК ИЛЛЮСТРАЦИЙ

	СТРАНИЦА
Табличка I. Сравнительные высоты	22
Табличка II. Оптические явления, показывающие высоту атмосферы	26
Табличка III. Температура на разных широтах и высотах	31
Рис. 1. Нефоскоп в обсерватории Блу Хилл.	52
Рис. 2. Облачный теодолит в обсерватории Блу Хилл	54

Фото IV.	Высоты и скорости облаков	57
Фото V.	Циркуляция атмосферы на разных высотах в циклонах и антициклонах	61
Рис. 3.	Немецкий аэростат, оборудованный для метеорологических наблюдений	87
Фото VI.	Температуры, наблюдавшиеся при четырех высоких подъемах аэростата	91
Рис. 4.	Немецкий воздушный змей.	95
Рис. 5.	Баротермограф Ричарда	102
Рис. 6.	The Аэрофил поднимающийся	103
Фото VII.	Высоты и температуры, зарегистрированные при восьми восхождениях на <i>Cirrus</i>	109
Рис. 7.	Восточные бесхвостые воздушные змеи.	119
Рис. 8.	Вихревой бесхвостый воздушный змей	129
Рис. 9.	Воздушный змей Харгрейва	130
Рис. 10.	Модифицированные воздушные змеи Харгрейва в Блу Хилл	133
Рис. 11.	Воздушный змей Ламсона с аэродинамической кривой	135
Рис. 12.	Метеорограф, снятый воздушными змеями на Голубом холме	138
Фото VIII.	Метеограмма с полета воздушного змея 8 октября 1896 года на Блу-Хилл,	148
Фото IX.	Средние изменения с высотой и изменения во время полета воздушного змея 8 октября 1896 г.	150
Фото X.	Изменения с высотой, зафиксированные воздушными змеями на Голубом Холме	155
Фото XI.	Наблюдения за воздушными змеями на Блу-Хилл, 5-11 сентября 1897 г.	163
Фото XII.	Автоматическая запись во время полета воздушного змея на высоте в Блу Хилл	166
Фото XIII.	Результаты полетов воздушного змея на Блу Хилл во время антициклона и циклона	168

ГЛАВА I

АТМОСФЕРА —ДРЕВНИЕ И СОВРЕМЕННЫЕ ЗНАНИЯ—МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Относительно этого важнейшего элемента, в котором мы живем, движемся и существуем, Плиний в первом веке нашей эры писал следующее: "Пришло время рассмотреть другие чудеса небес; так наши отцы называли то огромное пространство, где течет жизненная жидкость, которой мы даем название воздуха и которая не воспринимается органами чувств из-за своей большой редкости. Там образуются облака, а также гром и молния; это область бурь и смерчей; оттуда идут дожди, град и изморозь; оттуда происходят все те явления, удивительные и часто катастрофические, которые следуют за борьбой Природы с самой собой.... Солнечные лучи падают на землю со всех сторон, согревая и укрепляя ее; они отражаются и уносят все частицы, которые могут унести; пары опускаются и поднимаются снова; ветры приходят пустыми и возвращаются нагруженными добычей; животные вдыхают сверху эту жизненную жидкость, которая их оживляет, и земля отправляет ее обратно к ее источнику, как будто таким образом она заполняет пустоту. Итак, Природа, действующая повсюду и во всех направлениях, приводит к очевидному диссонансу, из которого рождается гармония Вселенной; именно это общее движение расставляет все вещи по их местам; одни сохраняются за счет разрушения других; все движется, все действует, борьба непрерывна, если бы она прекратилась на мгновение, все погрузилось бы в хаос..."

С самых ранних времен, на протяжении всей истории человечества, мы обнаруживаем, что человечество интересуется метеорологическими явлениями. Это кажется естественным, если мы примем во внимание важность погоды для древних скотоводческих народов, которые благодаря жизни на открытом воздухе и острым способностям восприятия своего народа были хорошо приспособлены для изучения природных явлений. Красота и величие многих явлений, происходящих в атмосфере, и любопытство, возбуждаемое по поводу их причин, вероятно, способствовали заинтересованности людей в них. По-видимому, метеорология впервые была систематизирована, в отличие от астрономии и астрологии, греческим философом Аристотелем более 2000 лет назад. Слово "метеор", происходящее от греческого "возвышенный", применялось к определенным явлениям, происходящим из атмосферы. Они были классифицированы на воздушные, водные и светящиеся метеоры, и все они были включены в термин "Метеорология". В своем трактате под таким названием Аристотель дал о них более подробное описание, чем любой из предшествующих или современных авторов, а Теофраст, его ученик, написал две книги "О ветрах" и "О признаках дождя", которые были переведены на латынь и английский. Примерно в тот же период Арат включил пословицы о текущей погоде в свою поэму "*Диосемея*". Греческие историки и поэты часто ссылались на атмосферные явления, и их примеру последовали римляне, о которых упоминался Плиний.

Несомненно, желание подняться в воздух всегда владело человеком, но из-за благоговейного трепета, который горы, по-видимому, внушали древним, в их трудах редко упоминается о восхождении на горы или о физиологических эффектах, которые вряд ли могли не проявиться на высоких вершинах. Цитируя одно из немногих существующих повествований, Аристотель сообщает: "Те, кто поднимался на вершину горного Олимпа, не могли сохранить себе жизнь, не имея при себе влажных губок, с помощью которых они могли дышать в воздухе, в противном случае слишком разреженном для дыхания". Говорили, что эта гора высотой менее 10 000 футов настолько высока, что на ее вершине никогда не было дождя, где, как предполагалось, воздух

всегда был неподвижен. Еще более высокая гора, легко доступная для древнего мира и на которую, как мы знаем, совершались восхождения, - это Этна.

О прогрессе метеорологии со времен древних римлян до возрождения знаний в Европе можно сказать немного, за исключением того, что в средние века метеорология, как и другие науки, была ограничена монастырями. Были распространены предположения относительно протяженности атмосферы, пока в середине одиннадцатого века ученый араб Алхазен не вычислил по продолжительности сумерек, что атмосфера простирается на девятнадцать лиг над землей. Тот же метод с большей точностью применялся Тихо Браге, Кеплером и другими астрономами шестнадцатого и семнадцатого веков. Самые ранние погодные хроники, вероятно, время от времени отмечались монахами в альманахах или молитвенниках, хотя когда это было сделано впервые, мы не знаем. Старейшими из дошедших до нас ежедневных хроник погоды являются те, которые вел Уильям Мерл в Оксфорде с 1337 по 1344 год. Мы обязаны покойному мистеру Саймонсу, английскому метеорологу и библиофилу, тем, что эта рукопись и многие другие старые записи были обнаружены и опубликованы. Доктор Хеллманн сделал еще больше в Германии, и это историческое исследование является свидетельством растущего значения науки метеорологии.

С наступлением эпохи географических открытий стало ясно, что климатические особенности нашего земного шара зависят главным образом от расстояния от экватора, близости к океану и высоты над ним. Особенно в тропиках пышная растительность, которая уменьшается на склонах гор и выше уступает место снегу, должна была быть видимым доказательством снижения температуры с высотой, поскольку, как заметил профессор Дэниэлл, горы представляют собой гигантский регистрирующий термометр, имеющий в качестве точки замерзания линию вечных снегов. Изобретение приборов для измерения температуры и барометрического давления сделало возможными количественные наблюдения, которые дали данные для вывода законов, управляющих атмосферой. Самым древним метеорологическим прибором, без сомнения, является флюгер, который возник еще до христианской эры. Следующим по старшинству является гигрометр, или прибор для измерения влажности воздуха, форма которого основана на поглощении, датируемая серединой пятнадцатого века, а конденсационный гигрометр на столетие моложе. Следующим в хронологическом порядке идет дождемер, которым, по-видимому, пользовался Кастелли, друг Галилея, в 1639 году. История этого важного инструмента, термометра, неясна, но несомненно, что Галилей в Падуе использовал воздушный термометр во второй половине шестнадцатого века, который французский врач Рей наполнил жидкостью в 1631 году. Этот термометр, как и другие физические приборы, был усовершенствован сотрудниками Академии Чименто во Флоренции. Эти инструменты описаны в книге *"Saggi di Naturali Esperienza"*, написанной в 1666 году и переведенной на латынь и английский. Флорентийские термометры имели одну фиксированную точку - точку замерзания воды, и содержали либо спирт, либо ртуть. В 1724 году градус Фаренгейта в Данциге зафиксировал три точки на шкале ртутного термометра, а именно. холод, производимый льдом и нашатырным спиртом, который он назвал 0 °, замерзание воды или 32 °, и тепло человеческой крови, которое он принял за 96 °. Эта термометрическая шкала, показывающая 180 ° между замерзанием и кипением воды, и шкала Цельсия со 100 °, являются единственными, используемыми в науке на сегодняшний день. Примечательным фактом в истории термометров является то, что ни один из этих термометров не сохранился в стране, где он был изобретен; таким образом, термометр немца Фаренгейта вошел в употребление исключительно в Англии и ее колониях, в то время как термометр шведа Цельсия в настоящее время используется на

европейском континенте, за исключением Германии, где термометр француза Реомюра все еще широко используется. Из четырех фундаментальных метеорологических приборов барометр был изобретен последним. Аристотель подозревал, что воздух имеет вес, но это не было доказано до середины семнадцатого века, когда старая аксиома "Природа не терпит вакуума" была заменена рациональным объяснением, данным Галилеем и Торричелли, его учеником, почему вода во всасывающем насосе не поднимается более чем на тридцать два фута. В 1643 году Торричелли провел этот знаменитый эксперимент: он взял стеклянную трубку, запечатанную с одного конца, и наполнил ее ртутью, затем, закрыв открытый конец пальцем, перевернул ее в сосуде со ртутью. Уровень ртути упал примерно до тридцати дюймов, что было признано весом столба, соответствующего площади трубы и высоте атмосферы. Применение барометра произошло благодаря Блезу Паскалю, который повторил в Руане эксперимент Торричелли с гораздо более длинной трубкой, наполненной водой, которая, будучи в тринадцать раз легче ртути, находилась в трубке в тринадцать раз выше, или на тридцать два фута. Паскаль, будучи сам в Париже в 1648 году, попросил своего шурина Перье отнести барометрическую трубку, наполненную ртутью, на вершину Пюи-де-Дом, горы в Оверни, возвышающейся примерно на 3500 футов над городом Клермон. По мере подъема ртуть падала в трубе, и на вершине горы она была примерно на три дюйма ниже, чем у основания, показывая, что нижние слои атмосферы плотнее верхних. Паскаль повторил эксперимент на башне Сен-Жак в Париже, и интересно отметить, что более двухсот лет спустя как там, так и на Пюи-де-Дом были установлены метеорологические станции. Вскоре было замечено, что уровень ртути в трубке не только меняется с высотой, но и что она постоянно колеблется в одном и том же месте, и из-за наблюдаемой зависимости ртути от состояния погоды она получила название "флюгер". В 1650 году вес воздуха был продемонстрирован другим способом Отто фон Герике, бургомистром Магдебурга, который с помощью воздушного насоса своего изобретения провел эксперимент, который безуспешно пытался провести Аристотель, по взвешиванию сосуда, наполненного воздухом, и того же сосуда, лишённого воздуха. Он также показал давление воздуха во всех направлениях с помощью знаменитого эксперимента с магдебургскими полусферами, которые, будучи полыми, были соединены вместе, и после того, как воздух был выпущен из сформированной таким образом сферы, шестнадцать лошадей не смогли разнять их. Вскоре после этого Роберт Бойль продолжил эксперименты с весом и "пружинистостью воздуха", как он это называл, и дал название барометру. И Бойль в Англии, и Мариотт во Франции открыли закон, носящий безразлично их имена, согласно которому давление газов пропорционально их плотности. Галлей несколькими годами позже показал, что скорость снижения давления отличается от скорости увеличения высоты, и разработал формулы для измерения высоты барометром, которые впоследствии были усовершенствованы Лапласом. Зная высоты барометра на станции высокого и низкого уровня и среднюю температуру воздуха, лежащего между ними, можно точно вычислить разницу высот двух станций или, наоборот, учитывая эту высоту, можно рассчитать разницу в барометрическом давлении. К середине семнадцатого века были изобретены важнейшие метеорологические инструменты, и не только Италия может претендовать на звание их родины, но и великий герцог Фердинанд II, чей брат Леопольд основал Академию Чименто, распространил новые инструменты по Италии и даже за пределами Альп, так что в 1654 году на дюжине станций начались наблюдения по несколько раз в день. Наблюдения во Флоренции с 1650 по 1670 год сохранились и положили начало инструментальной метеорологии.

Это было завоевание Перу, которое привело людей через высокие перевалы Анд и впервые привело их к большим высотам, но, хотя в истории экспедиций мы находим упоминания о так называемой горной болезни, вызванной переутомлением, а также холодным и разреженным воздухом, не похоже, чтобы проводились научные наблюдения. Следовательно, хотя следует предположить, что атмосферные условия на значительных высотах были знакомы путешественникам, все же только в середине прошлого века Буге, один из трех французских академиков, командированных в Перу с геодезической миссией, зафиксировал высоту точки замерзания в различных широтах, после того как заметил, что температура ночью в горах вблизи экватора опускалась ниже нуля. Во второй половине века английский химик Кирван рассчитал температуру для различных параллелей широты, а в 1817 году Александр фон Гумбольдт после кругосветного путешествия опубликовал свои изотермические линии, или линии равной температуры на поверхности земного шара, с помощью которых он показал, что отклонение от нормальной, или расчетной, температуры обусловлено распределением суши и воды, а также географическим рельефом первых. Эта работа фон Гумбольдта легла в основу всех последующих исследований в области сравнительной климатологии. Тем временем химия не отставала от физики, и в 1774 году старая теория о том, что воздух был одним из четырех элементов, из которых произошло все сущее, была признана несостоятельной Пристли, который доказал, что открытый им газообразный кислород является составной частью воздуха. Другой компонент, азот, ранее названный азотом из-за его разрушительной силы для жизни, был открыт вскоре после этого, и его пропорция в воздухе была определена французским химиком Лавуазье.

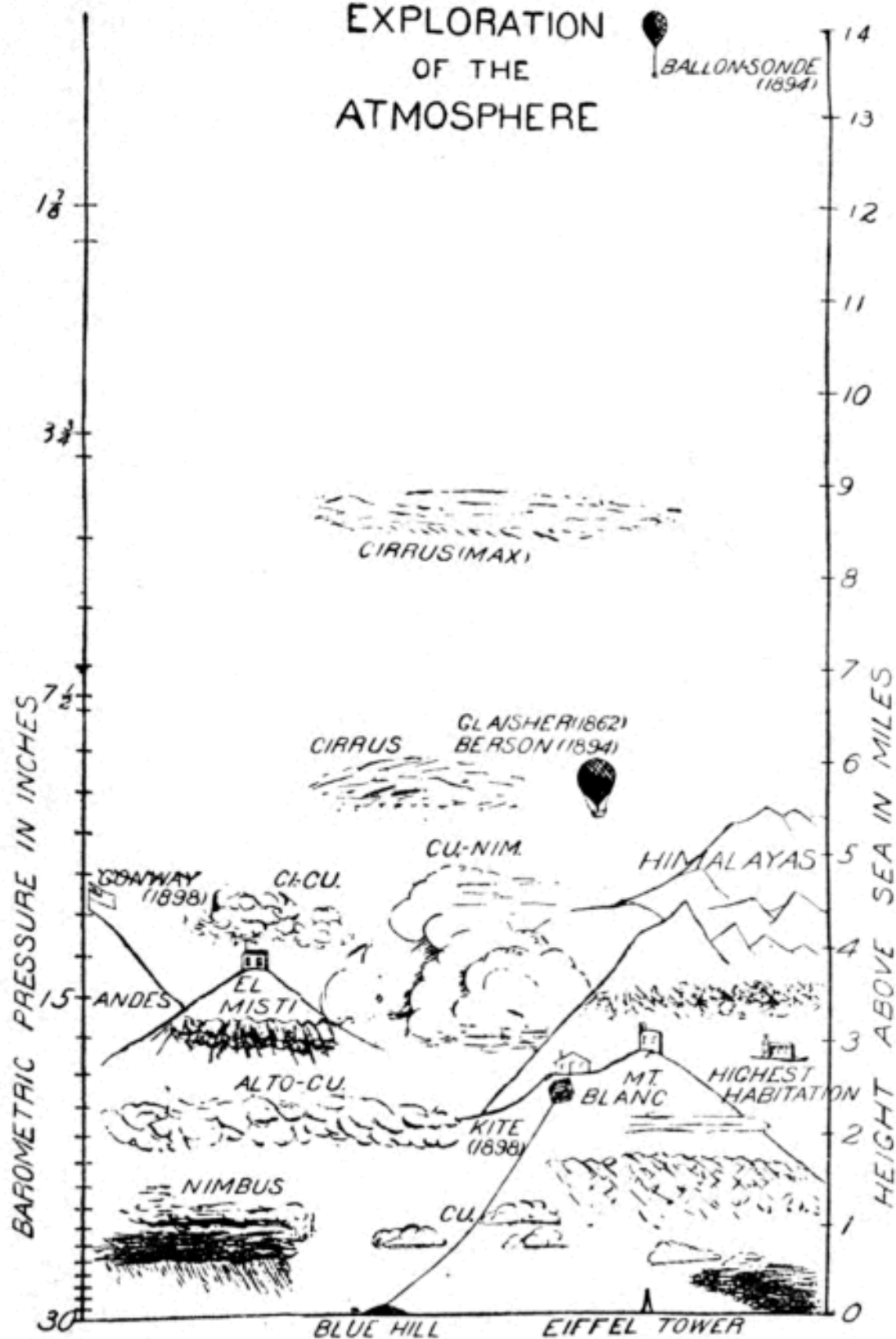
В 1783 году человек овладел долгожданным средством свободно подниматься в воздух, и он быстро им воспользовался. Первые воздушные шары, наполненные нагретым воздухом, получили название *Montgolfières* по имени изобретателей, братьев Монгольфье, живущих в Анноне, Франция. После того, как животные были отправлены вверх привязанными к одному из них, Пилатр де Розье отважился подняться на аэростатическом аппарате, сначала привязанный в неволе, но затем освобожденный, и до конца года воздушный шар, наполненный газообразным водородом, или "горючим воздухом", как его называли, поднял месье Шарля на 9000 футов над Парижем. На протяжении более чем столетия воздушный шар был самым важным средством исследования атмосферы, и все же, несмотря на мужество и преданность науке первых воздухоплавателей, их восхождения с неподходящими приборами дали много противоречивых и ошибочных данных. Некоторые из самых замечательных полетов на воздушном шаре и современные методы зондирования и углубления атмосферы, если позаимствовать термины из исследований океана, будут описаны в двух следующих главах.

Возможно, главной причиной медленного продвижения метеорологии к статусу науки является изменчивый характер ее явлений в зависимости от места наблюдения. В этом отношении она отличается от астрономии, которая легче культивировалась в ограниченном древнем мире. Только после того, как многолетние наблюдения в разных местах заложили основы климатологии, было осознано, что человек по своему отношению к атмосфере напоминает морские организмы, обитающие на дне океана, и что для того, чтобы обнаружить истинные условия атмосферы, необходимо наблюдать их на значительной высоте. В прошлом столетии самой высокой точкой, с которой проводились физические наблюдения, была вершина Монблана, расположенная менее чем на высоте 16 000 футов над уровнем моря. Восхождение на эту гору было впервые совершено в 1787 году Х. Б. Де Соссюром и его проводниками с большим трудом и страданиями, а на наблюдения, сокращенные и ставшие менее точными из-

за усталости и болезни Де Соссюра, также повлияла близость самой горы. В 1802 году фон Гумбольдт и Бонплан достигли высоты около 18 000 футов в Андах, где они произвели важные наблюдения. Восхождение человека было быстрым в первые годы девятнадцатого века, поскольку в 1804 году Гей-Люссак без усилий и дискомфорта поднялся на воздушном шаре на высоту 23 000 футов и там провел наблюдения, которые, как предполагалось, дали истинное представление об атмосферных условиях. После активной кампании покорение воздуха воздушными шарами было временно прекращено, и поле боя было предоставлено альпинисту. Но сегодня первенство принадлежит аэронавту, поскольку никому не удавалось подняться на гору выше 24 000 футов, в то время как аэронавт без особых трудностей превысил эту высоту на милю, а недавно запустил свои беспилотные аэростаты вдвое выше самых высоких гор.

Пластина I., посвященная исследованию атмосферы, представляет собой вертикальный разрез нижней части нашей атмосферы. Справа приведена шкала миль над уровнем моря, а слева - шкала барометрического давления, соответствующая высоте. В правой половине диаграммы показано восточное полушарие с Гималаями, в левой - западное полушарие с Андами. Видны высоты различных видов облаков, измеренные на Блу-Хилл, как описано в следующей главе; самые высокие метеорологические станции - на Монблане и Эль-Мисти в Перу; самое высокое постоянно населенное место - монастырь в Тибете; и самая большая высота, на которую поднимался человек, а именно в Андах. Высоты, на которых проводились наблюдения с помощью воздушных шаров, перевозящих наблюдателей или только регистрирующие приборы, можно сравнить с высотой, достигнутой воздушными змеями Blue Hill, которая будет описана ниже. Можно отметить и другие высоты, например высоту снежного покрова на различных горах, а в качестве меры в тысячу футов можно использовать Эйфелеву башню в Париже, самое высокое сооружение, возведенное человеком.

THE EXPLORATION OF THE ATMOSPHERE



Табличка I.—Сравнительные высоты.

Теперь прослежено развитие метеорологических знаний до начала текущего столетия, но прежде чем приступить к рассмотрению методов исследования атмосферы, составляющих предмет книги, давайте, чтобы лучше понять эту работу, рассмотрим общие знания, которыми мы обладаем о нашей атмосфере в отношении ее происхождения, состава, протяженности и условий нагрева и увлажнения. Итак, во-первых, **о происхождении Атмосферы**, или паровой оболочки, что означает это название. Согласно небулярной гипотезе Лапласа, наша земля, как и все существующие солнца и планеты, была сконденсирована из облаков туманной материи и превратилась в сильно нагретую шаровидную массу, вращающуюся, как и любое небесное тело, с запада на восток. По мере остывания земли образовалась земная кора, и многие вещества, которые сейчас существуют на земле, были взвешены в виде облаков в более прохладной атмосфере, окружающей ее. В конце концов, эти вещества конденсировались на земной коре; должно быть, количество кислорода, в частности, уменьшилось из-за соединения с горными породами, в то время как более легкие газы, такие как водород, возможно, улетучились из атмосферы Земли. Несомненно, когда зарождалась растительная и животная жизнь, атмосфера земли была плотнее, чем сейчас, и намного богаче углекислотой, которая в каменноугольный период поглощалась растениями, а сейчас заключена в угле и известняке. Однако в течение исторического периода нет никаких свидетельств каких-либо изменений в составе нашей атмосферы или климатических условиях в целом.

Месье Журданэ, выдающийся французский физиолог, утверждал, что человек появился на земле в конце третичного периода, когда барометрическое давление на уровне моря было, по его предположению, около сорока трех дюймов, или почти вдвое больше, чем сегодня, а из-за большей плотности воздуха его температура также была значительно выше. В этих обстоятельствах он полагал, что человек сначала заселил высокогорные районы Центральной Азии и эмигрировал на более низкие уровни только тогда, когда климатические условия улучшились. Другими словами, месье Журданэ верил в буквальное "происхождение человека", но если это правда, то многие представители расы вернулись на родину, поскольку сегодня миллионы людей обитают на великом Азиатском плато и в Южноамериканских Кордильерах, в среднем на высоте 10 000 футов, в то время как некоторые живут круглый год на экстремальных высотах в 15 000 футов.

Состав атмосферы.—Сухой воздух представляет собой смесь примерно одной пятой объема кислорода с четырьмя пятими объема азота, помимо очень небольшого количества ($\frac{3}{10\,000}$) углекислоты, следов аммиака, озона, аргона и других недавно обнаруженных газов. Потребляемый кислород и углекислота, выделяемая животными и при горении, поддерживаются в этом фиксированном соотношении в свободном воздухе за счет поглощения углекислоты и высвобождения кислорода растительностью. За счет диффузии и подвижности воздуха происходит полное перемешивание, в результате чего основной состав нашей атмосферы повсюду почти одинаков. В нижних слоях атмосферы водяной пар присутствует в различном количестве, в среднем около одного процента. по весу и объему, зависящему от температуры. Пыль всегда находится во взвешенном состоянии в атмосфере; более крупные частицы оседают, но более мелкие, которые образуются из вулканов, могут долгое время парить в верхних слоях атмосферы. Пыль является важным фактором образования облаков и дождя и вызывает множество оптических явлений.

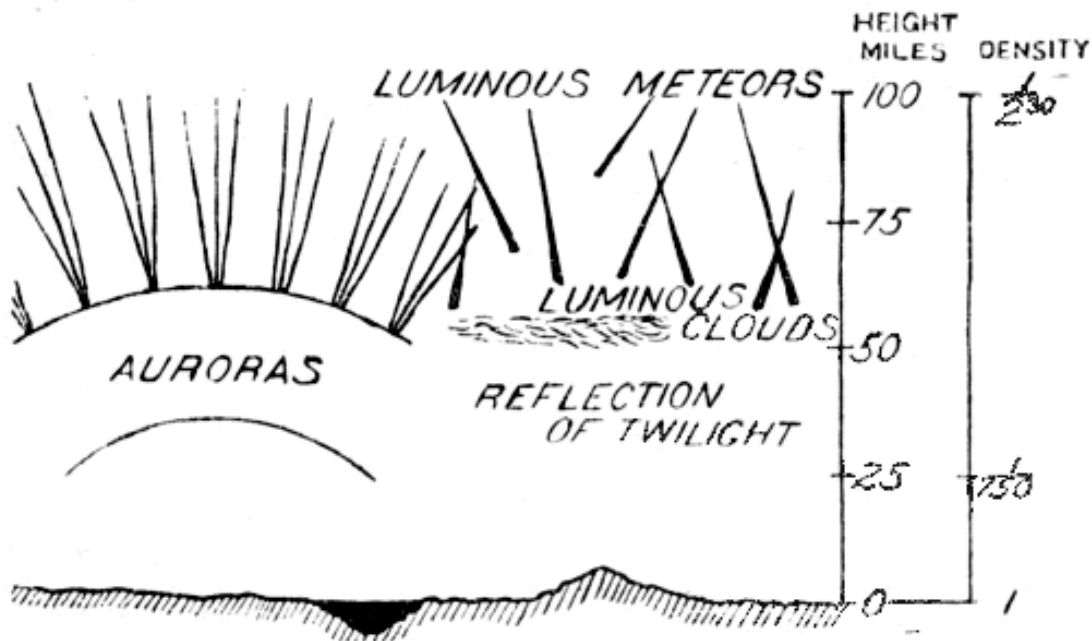


Таблица II. Оптические явления, показывающие высоту атмосферы.

Протяженность атмосферы.—Если бы атмосфера была несжимаемой и имела такую же плотность, как у земли, ее высота составляла бы всего около пяти миль, но на самом деле она состоит из газов, которые подчиняются закону Бойля и изменяются по объему обратно пропорционально давлению на них. Поскольку давление уменьшается с высотой в геометрической прогрессии, оно уменьшалось бы вдвое на каждые три с половиной мили подъема, если бы температура была постоянной, но поскольку температура также уменьшается с высотой, последовательные интервалы, начиная с трех с половиной миль, становятся короче, потому что объем газа зависит как от его температуры, так и от давления на него. Уменьшение давления с увеличением высоты над землей показано левой шкалой на [табличке I.](#), уже описанной, а последующее уменьшение плотности до пределов нашей измеримой атмосферы указано справа на [табличке II.](#), Оптические явления, показывающие высоту атмосферы. Газы, составляющие атмосферу, вероятно, простираются на высоту, пропорциональную их плотности, а именно. расстояние до кислорода составляет около тридцати миль, а до азота - тридцать пять миль, хотя водяной пар почти исчезает на расстоянии двенадцати миль. Исходя из этих соображений, предполагается, что атмосфера, измеряемая барометром, исчезает примерно на высоте тридцати восьми миль, и это примерно та высота, на которую указывают сумерки, представляющие собой отраженный свет солнца, когда оно находится на 18° ниже горизонта. После великого извержения вулкана Кракатау в Южных морях в 1883 году яркие отблески заката и более продолжительные сумерки показали, что пыль, выброшенная извержением, более года оставалась взвешенной на высоте не менее шестидесяти миль. Тригонометрическими измерениями было обнаружено, что так называемые "светящиеся облака", замеченные ночью в тот же период и, вероятно, представлявшие собой те же самые

пылинки, все еще освещенные солнцем, имели примерно ту же высоту. Хотя подсчитано, что на высоте семидесяти миль плотность воздуха составляет менее одной миллионной от плотности на уровне моря — это примерно плотность воздуха, остающегося в отработанной колбе электрической лампы накаливания, — там он достаточно плотный, чтобы заставить метеоры светиться от трения после того, как они с большой скоростью войдут в нашу атмосферу. На основании одновременных тригонометрических измерений на двух станциях было установлено, что высота этих метеоров иногда превышает сто миль, и если мы предположим, что северное сияние представляет собой электрический разряд в сильно разреженном воздухе, измерения, сделанные таким же образом, указывают на столь же большую высоту для нашей атмосферы. Высота полярного сияния сильно варьируется, но средняя высота его и других описанных явлений с соответствующей вычисленной плотностью воздуха показаны на предыдущей диаграмме, на которой глубину воздушного океана можно сравнить с самыми глубокими морями и самыми высокими горами. Хотя, как говорит профессор Янг, нельзя утверждать, что атмосфера имеет какой-либо определенный верхний предел, тем не менее кинетическая теория газов, по-видимому, дает доказательства того, что молекулы кислорода и азота не ускользают от притяжения Земли, и поэтому гипотеза профессора Ферстера о том, что межпланетное пространство заполнено *Химмельслуфтом*, или очень разреженным воздухом, необоснованна.

Температура атмосферы.—Тепло атмосферы вырабатывается главным образом солнечными лучами, которые, задерживаясь земной поверхностью, частично отражаются, а частично излучаются обратно через атмосферу. Не более семидесяти пяти процентов. Профессор Лэнгли говорит, что только шестьдесят процентов солнечного тепла, которое принимается вертикально на верхней поверхности атмосферы, проникает на землю, и его гораздо меньше, когда угол наклона солнца низкий. Причина, по которой температура снижается по мере нашего подъема, частично объясняется большей потерей тепла излучением через более тонкую оболочку верхних слоев, а частично - большим поглощением тепла, выделяемого землей нижними и более плотными слоями. В целом, можно сказать, что на каждые триста тридцать футов подъема по вертикали происходит уменьшение температуры на 1° по Фаренгейту, но эта скорость сильно варьируется на разных высотах, в разных местах и в разное время. Например, в горах снижение не такое, как в свободном воздухе, и в северном полушарии оно больше на юге, чем на северных склонах гор; обычно оно наибольшее у земли и летом происходит быстрее, чем зимой. Но в среднем температура падает на высоте трехсот тридцати футов столько же, сколько на расстоянии семидесяти миль от поверхности земли к северу или югу от экватора. Когда сухой воздух поднимается, потому что он нагревается и тем самым становится легче, законы термодинамики показывают, что по причине его расширения его температура снижается на 1° по Фаренгейту на каждые сто восемьдесят три фута, которые он поднимает, а при сжатии его температура повышается на столько же, если его заставить опускаться на то же расстояние. Это называется "адиабатической скоростью изменения температуры", потому что она возникает в результате изменения плотности воздуха из-за изменения давления без добавления или потери тепла. В ходе чтения этой книги у нас будет возможность часто обращаться к этому закону нагрева и охлаждения. Адиабатическая скорость изменения температуры редко наблюдается в горах из-за их влияния на потоки воздуха, соприкасающиеся с их склонами, или даже на воздушных шарах из-за несовершенных измерений, но, как будет объяснено в заключительной главе, адиабатическое изменение температуры подтверждается наблюдениями с воздушными змеями, которые представляют собой наилучший метод получения температуры свободного воздуха на умеренных высотах. Адиабатическое охлаждение восходящих потоков воздуха

является еще одной причиной быстрого снижения температуры с высотой до мили и более. Верхний воздух изменяет свою температуру в зависимости от суточных и сезонных причин гораздо медленнее, чем нижний воздух, и на высоте мили над землей суточное изменение температуры, за исключением прохождения "теплых и холодных волн", составляет менее одного градуса. На высоте шести миль над землей постоянно преобладает температура намного ниже нуля, в то время как на высоте десяти миль на воздушном шаре было зафиксировано 80° ниже нуля — это примерно температура, преобладающая зимой и летом над полюсом и экватором. Эти факты графически представлены на [рисунке III](#). Температура на разных широтах и высотах, которая представляет половину участка Земли, от северного полюса до экватора, с преобладающей атмосферой.

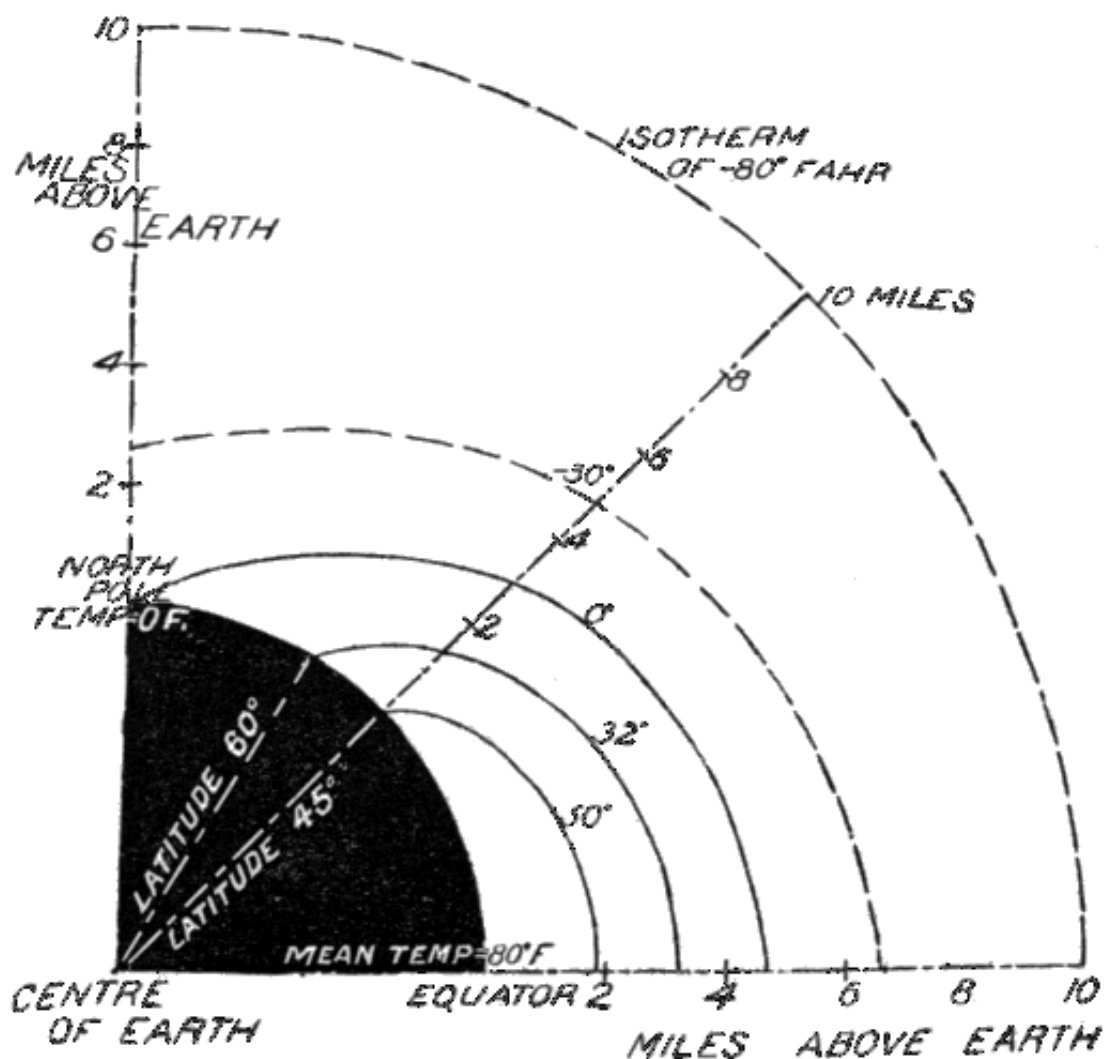


Таблица III.—Температура в разных широтах и высотах.

Возможно, следует объяснить, что в то время как кривизна земли по отношению к высоте атмосферы на предыдущей диаграмме не была преувеличена, на настоящей диаграмме высота атмосферы по радиусу земли чрезвычайно увеличена. На северном полюсе средняя годовая

температура составляет около 0° по Фаренгейту, а на экваторе - около 80° . Видно, что атмосферный слой, имеющий температуру 50° (здесь представлен в разрезе линией), касается земли на широте 45° , но находится примерно в двух милях над экватором. Точно так же линия замерзания (32°) покидает поверхность земли на 58° широты и поднимается примерно на три с половиной мили над экватором; линия 0° поднимается от полюса примерно до семи миль на экваторе. Это хорошо иллюстрируется тем фактом, что только самые высокие горы в тропиках покрыты снегом, в то время как за полярным кругом линия снегопада опускается почти до уровня моря. Линии на диаграмме показывают среднегодовые температуры, но изотермические поверхности повышаются летом и опускаются зимой, причем изменение высоты является наибольшим в северных регионах и вблизи земли. Часто наблюдается инверсия температуры, то есть сверху теплее, чем внизу. Примечательно, что в Сибири, где зимняя температура составляет 60° ниже нуля, не может быть немедленного снижения температуры с высотой, и вполне вероятно, что между очень холодной землей и еще более холодными верхними слоями воздуха находится более теплый слой воздуха, так что температура сначала быстро повышается с высотой, а затем медленно падает до границ атмосферы. В умеренных широтах часто бывает, что зимой, при высоком барометрическом давлении, на горных станциях долгое время стоит тихая и относительно теплая погода по сравнению с той, которая наблюдается в долинах. Но тема инверсий температуры будет подробно обсуждаться при рассмотрении результатов наблюдений с воздушного шара и воздушного змея.

Наблюдения с воздушных шаров на большой высоте не являются ни достаточно многочисленными, ни точными, чтобы позволить нам составить мнение о том, какова температура межпланетного пространства, которую кинетическая теория газов определяет на уровне 460° по Фаренгейту ниже нуля. Эта температура называется "абсолютным нулем" и рассчитывается исходя из того факта, что воздух под постоянным давлением сжимается на $\frac{1}{490}$ от своего объема на каждый градус Фаренгейта, когда он охлаждается ниже температуры замерзающей воды, и, следовательно, при отсутствии давления он должен иметь бесконечный объем и температуру примерно на 490° ниже точки замерзания, или 458° ниже нуля. Существуют и другие гипотезы относительно температуры пространства, но поскольку ее никогда нельзя измерить напрямую, это, вероятно, останется предметом спекуляций. Однако несомненно, что если бы земля была лишена своей атмосферы, температура упала бы очень низко, и даже с нашей атмосферой в качестве одеяла наша земля была бы непригодна для жизни, если бы не водяной пар, который контролирует избирательное поглощение солнечных лучей, превращая их в темные лучи, так что они не могут вырваться из атмосферы. Таким образом, водяной пар является очень важным фактором в физике атмосферы, но здесь его можно рассмотреть лишь вкратце.

Влажность атмосферы.—Воздух постоянно поглощает влагу из воды на земле, но натяжение этого водного пара уменьшается с высотой гораздо быстрее, чем атмосферное давление. На высоте примерно мили с четвертью половина количества водяного пара находится ниже, в то время как мы должны подняться примерно на три с половиной мили, чтобы уменьшить количество воздуха наполовину, как можно видеть на [рисунке I](#). Относительная влажность, или процентное содержание влаги в воздухе, по сравнению с количеством, которое он мог бы содержать при данной температуре, практически противоположна при низких и при высоких уровнях. Из наблюдений за воздушными змеями на Блу-Хилл следует, что на высоте одной-двух миль воздух более сухой зимой и ночью и более влажный летом и днем, чем у земли. На

больших высотах, вероятно, воздух всегда очень сухой. Конденсация невидимого пара в видимую форму рассматривается в следующей главе, посвященной облакам.

Очевидно, что наши наблюдательные знания об атмосфере получены с помощью двух общих методов ее исследования, а именно наблюдений с земли за облаками и оптическими явлениями на расстоянии и наблюдений непосредственно в самом воздухе. Хотя в начале нынешнего столетия было осознано, что метеорологические наблюдения почти все проводятся в самом низу нашей атмосферы — "на отмелях воздушного океана", — сказал фон Гумбольдт, — однако только в течение последних тридцати лет было сочтено необходимым заменить случайные наблюдения над горами систематическими и длительными, сравнимыми с теми, которые обычно проводятся на низких уровнях. Свидетельством рвения Америки продвигать молодую науку метеорологию является то, что первая в мире станция на вершине горы была основана в 1871 году на горе Вашингтон, и что как этот открытый наблюдательный пункт на высоте 6300 футов над морем, так и более чем в два раза более высокий на Пайкс-Пик, который долгое время был самым высоким в мире, в течение многих лет обслуживались Службой связи Соединенных Штатов. В настоящее время самая высокая станция в мире обслуживается Гарвардской обсерваторией в Эль-Мисти в Перу, где на высоте более 19 000 футов моим помощником мистером Фергюссоном была сконструирована комбинация самопишущих приборов, рассчитанных на работу в течение трех месяцев без внимания. Следует, однако, признать, что дополнение к нашим знаниям о физике атмосферы, полученное от американских станций, было незначительным и несоизмеримым с понесенными расходами. Больше информации было получено с горных станций в Европе, особенно с тех, что находятся в Австрийских Альпах, которые предоставили данные для великолепных дискуссий доктора Ханна о термодинамике атмосферы. Хотя горные станции представляют собой единственное средство получения непрерывных наблюдений на значительной и постоянной высоте, все же у них есть серьезные недостатки. Распределение гор на нашем земном шаре не только неравномерно, но и, поскольку они являются частью земной коры, земные воздействия влияют на все наблюдения, сделанные над ними. В случае с плато это было сразу признано, но, разместив станции на вершинах высоких и изолированных пиков, можно было надеяться приблизиться к условиям свободного воздуха. В настоящее время признано, что равновесие атмосферы настолько неустойчиво, что для ее динамического изучения требуются точные и мельчайшие измерения температуры, влажности и течений, и методы, которые будут описаны, предназначены для получения значений этих элементов без влияния земных возмущений.

Облака, воздушные шары и воздушные змеи естественным образом дополняют друг друга. В то время как облака указывают направление и скорость воздуха на разных высотах, нижние облака часто скрывают верхние слои, или облаков может вообще не быть, и в этом случае воздушные шары или воздушные змеи помогут нам определить направление потоков. Когда у земли слабый ветер или для достижения высоты в несколько миль мы должны использовать воздушные шары, но в остальном в большинстве случаев предпочтительнее воздушные змеи. Тепловые и гигрометрические условия свободного воздуха могут быть установлены только путем личных наблюдений с воздушных шаров или путем поднятия самопишущих приборов с помощью воздушных шаров и воздушных змеев, и ожидается, что этот последний метод станет путем наибольшего прогресса.

ГЛАВА II

ОБЛАКА—ФОРМИРОВАНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ—ИЗМЕРЕНИЯ На БЛУ ХИЛЛ—МЕЖДУНАРОДНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ

Облака, должно быть, были одним из самых ранних наблюдаемых природных явлений, и с незапамятных времен они использовались как погодные знаки. Тем не менее, их повседневное появление, весьма вероятно, было причиной того, что их происхождение не изучалось еще около столетия назад. Отец Котт в своем классическом труде по метеорологии, опубликованном в 1774 году, посвящает облакам всего пару абзацев, но аббат Ришар в своей современной *Истории природы Воздуха* обсуждает внешний вид и теории облаков в десяти главах. Причина испарения была неизвестна в прошлом столетии, и только в конце его английский химик Далтон доказал, что водяной пар существует в воздухе независимо, а Хаттон объяснил, что осаджение образуется при контакте потока насыщенного воздуха с более холодным. Хотя об образовании облаков еще многое предстоит узнать, все же в настоящее время довольно точно установлено, что их наиболее эффективной причиной является подъем и последующее охлаждение за счет расширения воздуха, а не смешение воздушных масс с разной температурой. Подъем воздуха может быть результатом его выталкивания вверх по горному склону в результате горизонтального движения или его втягивания в вихрь, но чаще всего воздух поднимается из-за уменьшения его удельного веса при нагревании. Если температура неподвижного воздуха снижается быстрее, чем на 1° на каждые 183 фута высоты, что соответствует адиабатической скорости охлаждения сухого воздуха, как объяснялось в предыдущей главе, воздух, нагретый локально, будет подниматься и охлаждаться с такой скоростью до достижения точки росы. Затем пар в воздухе будет конденсироваться на частицах пыли, которых, как обнаружил Айткен, в облаках больше, чем вне их. Наиболее заметным из облаков, образованных восходящими потоками, является кучевое, или округлое летнее облако, которое было метко названо "видимой столицей невидимого воздушного столба". Насыщенный воздух охлаждается, поскольку поднимается медленнее, чем сухой воздух, следовательно, восходящее движение сохраняется в облачной массе, вызывая вздутие вершушек кучевых облаков, которые достигают своего наивысшего развития в грозовых облаках, или кучевонimbusах, как их еще называют. Таким образом, нижняя граница области облачности определяется высотой, на которой восходящие потоки достигают точки росы, а высота образования облаков зависит от влажности восходящего потока: чем он суше, тем выше должен подниматься пар, чтобы сконденсироваться. Во время штормов восходящее течение смешивается с более сильным горизонтальным течением наверху, которое уносит с собой верхнюю часть облаков и покрывает все небо однородной пеленой. Фон Гельмгольц и фон Безольд объяснили, что волна, или облако ряби, возникает из-за колебаний горизонтального потока, вызывающих попеременное разрежение и конденсацию водяного пара при изменении температуры. Еще одной причиной низко расположенных облаков является охлаждение воздуха до точки росы при соприкосновении с холодной поверхностью, такой как земля, охлаждаемая радиацией в ясную ночь, или полярные течения океана. Таким образом часто образуется туман, который мы называем слоистым облаком, когда он поднимается над нами. Самые высокие облака состоят из кристаллов льда, потому что температура воздуха, в котором они находятся, намного ниже температуры замерзающей воды. Хотя капли воды можно охладить значительно ниже 32° по Фаренгейту без образования ледяной корки, все же можно с

уверенностью сказать, что облака состоят из льда, если солнце и луна, когда они видны сквозь них, окружены большими кольцами или ореолами, которые, как показывает теория оптики, могут возникать только в результате преломления света кристаллами льда, тогда как капли воды в облаках образуют меньшие цветные кольца, которые называются коронами. На старый вопрос, почему облака плавают, если только их частицы не полые, легко ответить, поскольку они не плавают и всегда имеют тенденцию тонуть, если их не поддерживают потоки воздуха. Опускаясь в более теплый воздух, частицы испаряются и становятся невидимыми, но другие, поднимаясь, конденсируются и занимают их место, так что облако сохраняется, хотя его частицы меняются. Это иллюстрируют "облачные знамена", которые часто струятся с горных вершин и вызваны подъемом воздуха вверх по склону горы. Даже при сильном ветре облако остается прикрепленным к вершине, показывая, что его частицы постоянно обновляются; но если, как это часто бывает, ветер дует с подветренной стороны горы, частицы облака исчезают.

Ламарк, знаменитый натуралист, в начале нынешнего столетия впервые предложил классификацию форм облаков. Два года спустя Люк Ховард, лондонский торговец, опубликовал свое эпохальное эссе о *Видоизменениях облаков*. Выдвинутые там теории и предложенная номенклатура были приняты в целом и по сей день, несмотря на более полные классификации, разработанные Пои, Леем и другими. Говард считал, что облака образуются из водяного пара, поднимающегося от земли, и что составляющие их шарики твердые и не заполнены газообразным водородом, как утверждали Делюк и Де Соссюр. Говард классифицировал облака, как мы это делаем сегодня, в соответствии с их внешним видом, на три основных типа, а именно. слоистые, кучевые и перистые, которые также представляли низкие, средние и высокие облака. Слоистый слой - это слой низкорасположенных облаков, который образуется ночью и обычно лежит на земле; кучево-это скопление облаков в дневное время; а перистый - это клубящееся облако в верхних слоях атмосферы. Эти три типа были далее разделены на четыре промежуточных типа, а именно. nimbus, cumulo-stratus, cirro-stratus и cirro-cumulus. Номенклатура Говарда использовалась почти исключительно до тех пор, пока в 1889 году Международная метеорологическая конференция, собравшаяся в Париже, не рекомендовала принять другую классификацию, основанную на классификации Говарда, но модифицированную двумя экспертами, Аберкромби из Англии и Хильдебрандссоном из Швеции. Эта классификация также не учитывала происхождение облаков и основывалась только на их внешнем виде. В следующем году доктор Хильдебрандссон при содействии докторов Ноймайера и Кеппена из Deutsche Seewarte, или Немецкой национальной метеорологической обсерватории, подготовил атлас с цветными изображениями облаков, разделенных в соответствии с новой номенклатурой, с описательным текстом. Этот атлас был принят основными метеорологическими учреждениями на Европейском континенте для своих наблюдателей. Предисловие содержало следующее утверждение: "Изучение формы облаков с каждым днем приобретает все большее значение как с точки зрения теории, так и с точки зрения прогнозирования погоды. Наблюдений, сделанных на дне атмосферного океана, явно недостаточно для определения его циркуляции. Однако облака предоставляют информацию о состоянии и движении воздуха на различных уровнях. Но сравнение наблюдений разных наблюдателей возможно только тогда, когда одни и те же идеи связаны с одними и теми же выражениями. Вряд ли возможно дать достаточное словесное описание таких неопределенных и изменчивых форм, как формы облаков; поэтому необходимы графические изображения с помощью краткого описания, чтобы наблюдатель мог связать то, что он видит в небе, с тем, что

он находит в инструкциях. Чтобы изображение облаков было понятно неспециалистам, облака и голубое небо должны, по крайней мере, быть четко отличимы друг от друга".

На совещании директоров метеорологических учреждений в разных частях света, которое состоялось в Мюнхене в 1891 году, было принято решение принять классификацию Аберкромби и Хильдебрандссона, и был назначен комитет для подготовки Атласа облаков, который должен быть дешевле предыдущего. Этот комитет, американским членом которого автор имеет честь быть, собрался в Упсале в 1894 году. Он определил различные формы облаков, отобрал типичные рисунки для их иллюстрации и разработал инструкции по наблюдению. Этот атлас, опубликованный в 1896 году, является признанным авторитетом в области форм облаков.

Тем временем Метеорологическое бюро Соединенных Штатов выпустило таблицу облаков, напечатанную в одном цвете, чтобы ознакомить своих наблюдателей с новой системой. Военно-морское министерство также проявляет интерес к облакам, поскольку несколько тысяч моряков в разных частях света отправляют свои специальные журналы в Гидрографическое управление Соединенных Штатов. Гидрографом несколько лет назад был капитан Сигсби, который задолго до того, как стал известен общественности как командир злополучного "Мэна", приобрел научную репутацию благодаря исследованиям глубин и течений океана. Капитан Сигсби желал сделать сопоставимыми наблюдения за облаками, которые проводились по всему миру, и с этой целью он решил опубликовать цветной атлас международных типов облаков, который должен быть понятен морякам и в то же время не слишком дорогостоящий для его ведомства. После двух лет экспериментов, в течение которых автор и его помощник мистер Клейтон часто консультировались, в 1897 году Гидрографическим управлением были выпущены *Иллюстративные формы облаков* с описательным текстом и без него, и в некоторых отношениях этот атлас является лучшим. Тем не менее, ничто, кроме фотографии самого облака, не может показать исключительную утонченность определенных форм. Возможно, однако, следует объяснить, что, поскольку голубое небо и белые облака оказывают почти одинаковое актиническое воздействие на чувствительную пластинку, для получения надлежащего контраста между небом и облаками необходимо либо поляризовать свет с неба, либо, как это делается чаще всего, разделить цветные лучи, позволив им проходить через желтый экран и падать на автохроматические пластинки.

Прежде чем дать определение десяти основным типам облаков, следует пояснить, что различают два основных класса облаков: отдельные или шаровидные массы, которые чаще всего наблюдаются в сухую погоду, и формы, которые широко распространены или полностью закрывают небо, которые типичны для влажной погоды. Оба этих класса облаков встречаются на всех высотах.

Перистые облака - это тонкие, волокнистые, отделяющиеся друг от друга и похожие на перья облака, образованные кристаллами льда. Это самые высокие из всех облаков, и они движутся с наибольшей скоростью.

Перистые отложения образуют тонкую беловатую вуаль, более или менее волокнистую, которая часто создает ореолы вокруг солнца и луны и другие оптические явления.

Перисто-кучевые облака представляют собой скопления небольших отдельных ворсистых облаков, обычно белых и без теней.

Альтосфера представляет собой серую или голубоватую завесу, сквозь которую слабо видны солнце и луна, иногда образующие корону. Его высота составляет лишь около половины высоты Перистого слоя.

Кучевые облака представляют собой скопления более крупных, более или менее округлых, белых или частично затененных масс, часто соприкасающихся друг с другом и часто расположенных линиями в одном или нескольких направлениях.

Слоисто-кучевые - это большие шаровидные массы или скопления темных облаков, часто закрывающие все небо, особенно зимой.

Кучевые облака представляют собой скопления облаков с коническими или полусферическими вершинами и плоскими основаниями. Они образуются восходящими потоками нагретого воздуха и поэтому наиболее распространены летом и в тропических регионах. При разрушении сильными ветрами отдельные участки называются фракто-кучевыми.

Кучево-дождевое облако - массивное грозовое облако, поднимающееся в виде гор или башенок и обычно имеющее над собой волокнистый экран (ложный перистый слой), а под ним массу облаков, похожих на нимб, из которого выпадает дождь.

Нимб представляет собой плотную, темную полосу рваных облаков, из которых обычно идет непрерывный дождь или снег. Разорванные облака внизу, образующие склад моряков, называются фрактонimbusами.

Стратус представляет собой тонкий однородный слой облаков на очень низком уровне. Когда лист распадается на неправильные лоскутки, это называется фрактослоением.

После описания происхождения и внешнего вида различных облаков, теперь будет дан отчет об измерениях, проведенных в обсерватории Блу Хилл, и информации, которую они дают о циркуляции атмосферы. Работа там была начата в 1887 году вследствие интереса метеоролога мистера Клейтона к изучению облаков; его обсуждение наблюдений за облаками, опубликованное два года назад в журнале Blue Hill observations, было названо безусловно самым тщательным исследованием подобного рода, когда-либо проводившимся в Америке, если не в мире. Большинство выводов, которые здесь изложены популярно, получили свое научное выражение в его работах.

Первое исследование касалось количества облаков в разное время суток и в разное время года. Степень облачности принято отмечать по шкале от 0, когда облаков нет, до 10, когда покрыто все небо. В течение двенадцати лет на Блу-Хилл регистрировалось количество облаков в каждый час дня. Личные наблюдения были дополнены в дневное время автоматическим прибором, называемым регистратором солнечного сияния, поскольку было доказано, что облачность почти полностью противоположна яркому солнечному свету. Следовательно, если, как это там обычно бывает, солнце светит на сорок шесть процентов. в то время, когда он находится над горизонтом, облачность составляет почти пятьдесят четыре процента, что является средним показателем за год. Инструмент, обычно используемый для этой цели, представляет собой стеклянную сферу, которая действует как стекло для обжига и обжигает полосу картона, расположенную концентрически вокруг нижней части сферы. Когда солнце движется, изображение на карте перемещается по карте в противоположном направлении, выжигая линию, пока оно светит, но оставляя карту нетронутой, когда она облачная.

Аналогичным образом запись может быть получена на сенсibilизированной "синей бумаге", если позволить солнечным лучам проникать в темную камеру, содержащую бумагу. Ведение личных наблюдений в каждый час ночи сопряжено с большими трудностями, и поэтому в течение десяти лет в Блу-Хилл использовался автоматический прибор, который заслуживает лучшей известности. Он называется регистратором полярных звезд и был разработан профессором Пикерингом, директором обсерватории Гарвардского колледжа. Прибор очень прост, и состоит из телескопической камеры, сфокусированной на полярной звездочке. Эта звезда находится не на северном полюсе небес, а чуть более чем в градусе от них, и, следовательно, за двадцать четыре часа она описывает в небе небольшой круг. Когда небо вокруг Полярной звезды чистое, ее след на фотопластинке остается непрерывным, но когда небо частично или полностью покрыто облаками, след прерывается или затемняется. Конечно, изображение не выставляется до наступления темноты, а затвор закрывается часами до рассвета. Единственные почасовые данные о ночной облачности в Соединенных Штатах получены этим прибором на Блу Хилл и в Кембридже. Возможно, кто-то возразит, что облачность, полученная в результате наблюдений солнца или полярной звезды, - это величина не на всем небе, а только в области расположения светила. Это верно, но обнаружено, что среднее значение записей за месяц или год очень близко согласуется со средним значением оценок облачности по всему небу в течение этих периодов. Использование полярной звезды предпочтительнее, чем использование солнца, потому что в наших широтах она дает значения в точке примерно на полпути между горизонтом и зенитом; в то время как, поскольку солнце движется по небу с переменной высотой, при небольшой высоте одна и та же масса облаков может перехватывать больше солнечного света, чем при вертикальном освещении. На основании десятилетних наблюдений были сделаны следующие выводы относительно изменения количества облаков в районе Блу-Хилл. За все месяцы суточное количество облаков наиболее велико около часа дня из-за частоты кучевых облаков вблизи самой теплой части дня, в то время как следующее по величине количество облаков из-за частоты слоистых облаков приходится на восход солнца или на самое холодное время суток. Во всем мире наименьшая облачность бывает вечером, когда сумма комбинированных воздействий радиации и [Инсоляция](#) наименьшая. Годовой период облачности сложный, потому что количество облаков связано с изменениями влажности на многих различных уровнях атмосферы, но в северном полушарии больше всего облаков в первой половине года и меньше всего во второй половине, вероятно, потому, что растущее тепло на поверхности земли вызывает усиление восходящих потоков до лета, в то время как охлаждение поверхности земли осенью становится неблагоприятным для восходящих потоков. Распределение облачности по земному шару тесно связано с общей циркуляцией атмосферы, она больше там, где есть восходящие течения, и меньше там, где есть нисходящие течения. Причина, естественно, в том, что по мере того, как опускающийся воздух становится теплее и, следовательно, относительно суше, облака в нем испаряются и исчезают. Облачный пояс окружает землю по экватору, и по обе стороны от него находятся два пояса с меньшим количеством облаков, но в более высоких широтах облачность увеличивается. Если бы мы могли видеть нашу землю за пределами ее атмосферы, свет, отраженный от верхних поверхностей облачных поясов, вероятно, заставил бы их казаться яркими. Французский метеоролог М. Тейссеренк де Борт считает, что по отметинам на планете, которые, как известно, образовались в результате конденсации, можно сделать вывод о циркуляции ее атмосферы, поскольку везде, где на поверхности планеты видны яркие пятна, там должен конденсироваться пар восходящих потоков. Если это правда, то есть сходство между Юпитером, каким мы его видим, и землей, какой она выглядит с другой планеты: яркие полосы

представляют собой поверхность облаков, а темные пятна проглядывают на поверхности планеты под ними.

Наблюдения за направлением движения и видимой скоростью облаков на разной высоте проводились в Блу-Хилл несколько раз в день с 1886 года. Для измерения движения облаков используется нефоскоп (рис. 1). Он состоит из горизонтального круглого зеркала с concentрическим кругом азимутов и окуляра C , перемещаемого в плоскости BD под прямым углом к зеркалу, а также вокруг него, с помощью которого изображение облака выводится в центр зеркала A . С помощью геометрии можно доказать, что движение изображения облака пропорционально движению самого облака, поэтому, отмечая, в каком направлении и насколько далеко смещается изображение за данный момент времени, мы получаем истинное направление движения самого облака, а также его относительную скорость, сравнимую со скоростью всех облаков одинаковой высоты. Если высота известна, то относительную скорость можно легко преобразовать в абсолютную, и, таким образом, точно определить скорость течений на разных высотах в атмосфере.

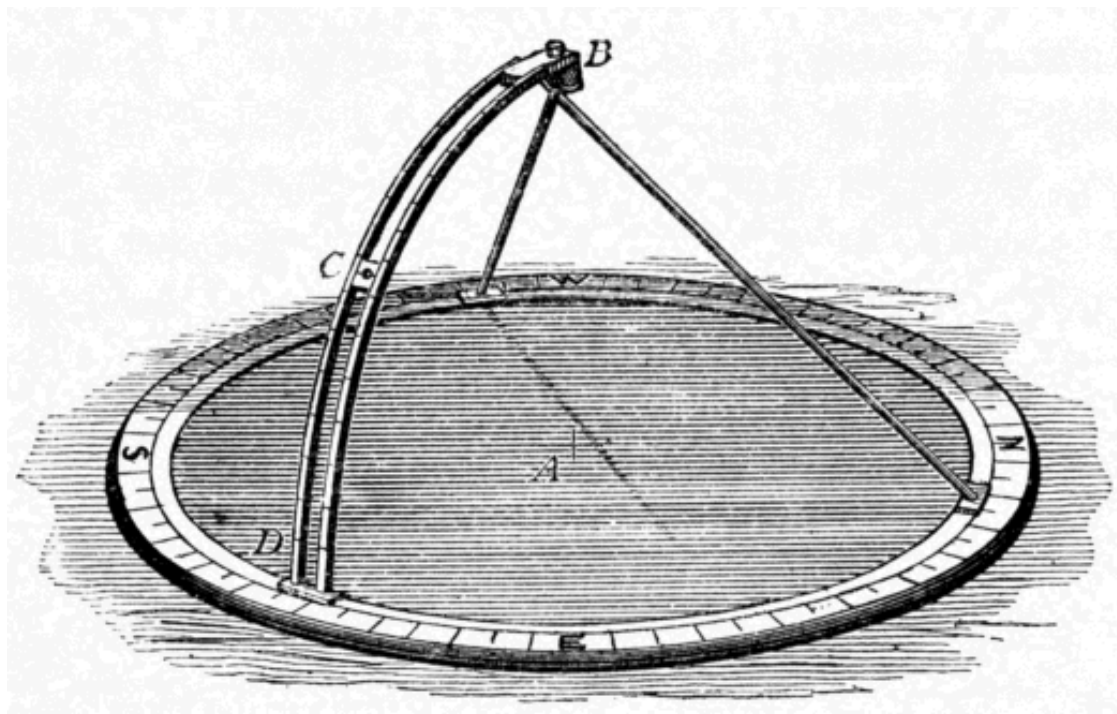


Рис. 1. Нефоскоп в обсерватории Блу Хилл.

Высота облаков, по-видимому, была измерена тригонометрически с двух станций еще в 1644 году Риччоли и Гримальди, двумя болонскими иезуитами, но, несмотря на эти измерения и некоторые выводы, сделанные на основе наблюдений в горах и на воздушных шарах, высоты различных облаков не были известны с какой-либо точностью, пока в 1884 году Экхольм и Хагстрем не провели серию тригонометрических измерений различных типов облаков в Упсале, Швеция. Примерно в то же время в обсерватории Кью были предприняты попытки измерить облачность с помощью фотографии, а в 1885 году, вероятно, первые тригонометрические измерения в Америке были проведены в Кембридже, штат Массачусетс, профессором У. М. Дэвисом и мистером А. Макэди. В 1890-91 годах шведские методы применялись в Blue Hill господами Дж. Клейтон и Фергюссон из персонала обсерватории, и до недавнего времени

измерения там и в Упсале включали все, что было точно известно о высотах и скоростях различных видов облаков.

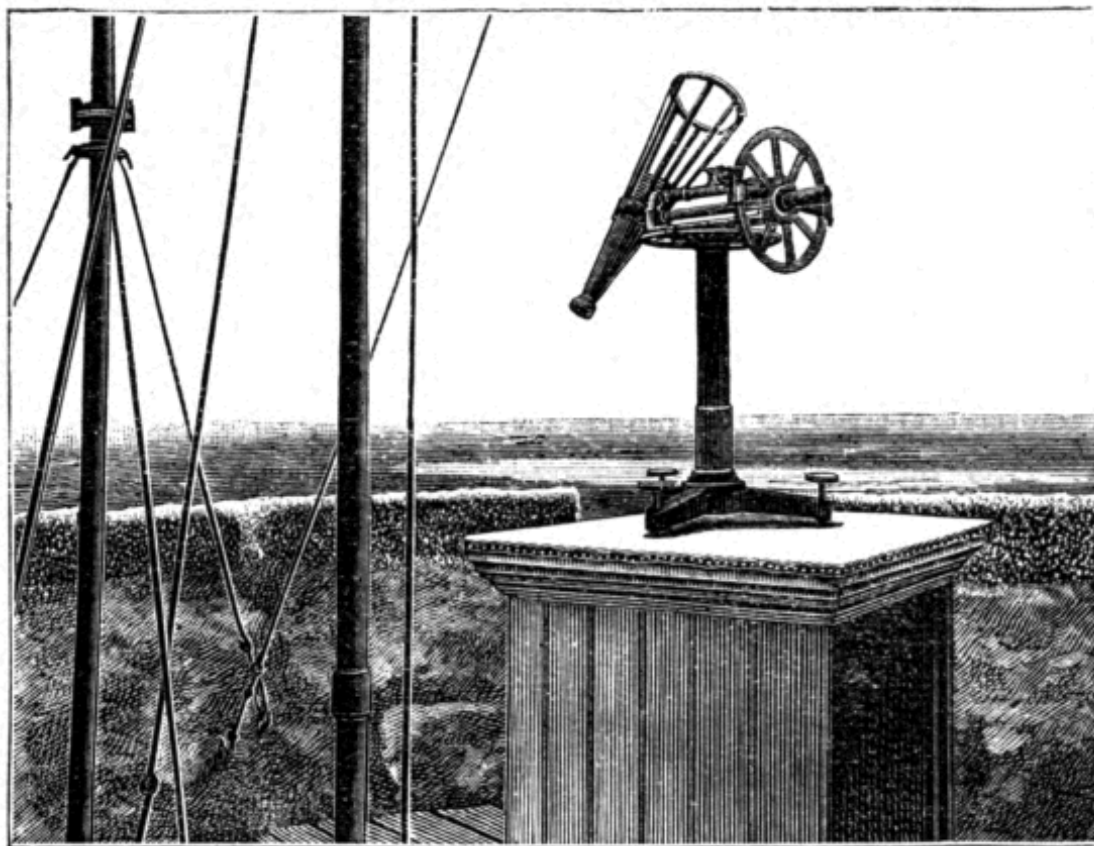


Рис. 2. Облачный теодолит в обсерватории Блу Хилл.

Тригонометрические измерения на Блу-Хилл проводились следующим образом: на двух станциях, одной в Обсерватории, другой у подножия холма примерно в миле от нее, два наблюдателя одновременно определяли угловую высоту и азимут некоторой точки на облаке, которые согласовывались посредством телефонного разговора. Если, как это обычно бывает, линии визирования не пересекались, тригонометрические формулы давали высоту точки на полпути между пересечением этих линий. Точность этих измерений была такова, что вероятная ошибка в расчетных высотах самых высоких облаков составляет всего несколько сотен футов. Последовательные наблюдения за положением облака на двух станциях позволили рассчитать его скорость, или, как уже объяснялось, это может быть получено из относительной скорости, измеренной на одной станции, если известна высота облака. На рис. 2 показан теодолит на башне обсерватории. В Блу Хилл использовались пять других методов измерения облачности: (1) Единственным методом определения высоты высоких и однородных слоев облаков является свет, падающий на них снизу, а в Блу Хилл используется электрическое освещение окружающих городов. Измеряется угол, который центр освещения составляет с горизонтом, и, зная расстояние до города, можно решить прямоугольный треугольник. (2) Точный метод для низких и однородных облаков - запускать в них воздушных змеев, как будет объяснено в заключительной главе. (3) Когда облака опускаются достаточно низко, чтобы отбрасывать тени на землю, измеряются углы расположения облака и солнца, видимые из Обсерватории, и с учетом расстояния тени от вершины холма, определенного по карте, этот треугольник может быть решен. Время прохождения тени над известными точками ландшафта дает еще один

способ расчета ее скорости. (4) Метод, предложенный Эспи, американским метеорологом-первопроходцем, для определения высоты основания облаков, лежащих в пределах мили от земли, заключается в нахождении разницы в температуре между воздухом и точкой росы у земли и вычислении высоты, на которой эта разница должна исчезнуть. Когда температура восходящих потоков увеличивается, как в теплые дни, и уровень точки росы поднимается выше, видно, что облако поднимается, и, фактически, измерения в Блу Хилл показывают, что облака средней высоты являются самыми высокими в самую теплую часть дня. (5) Наконец, очень низкий слой или венчик можно измерить, отметив высоту их оснований на склонах холма.

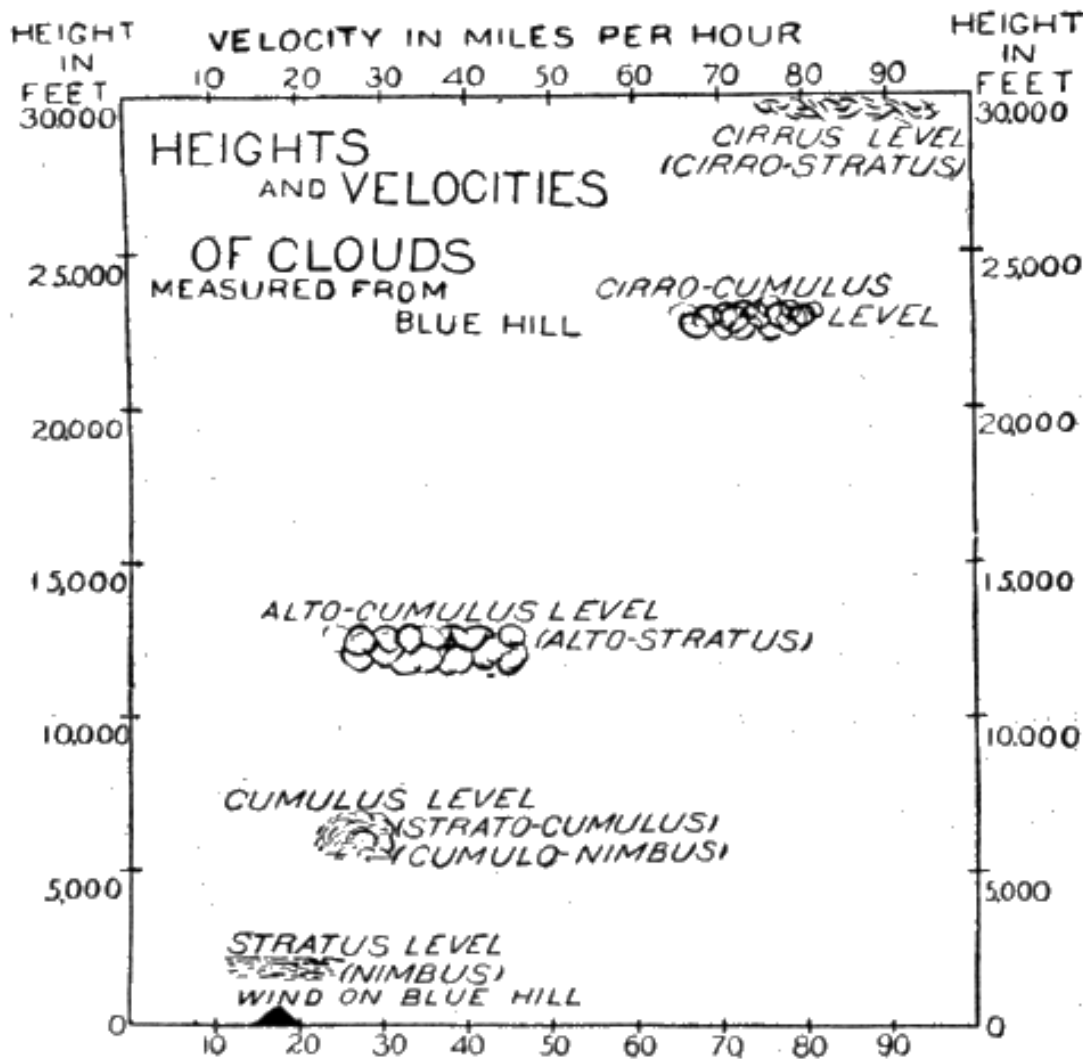


Фото IV.

Установлена идентичность форм облаков по всему миру, и в результате измерений в Блу Хилл известны высота и скорость всех наблюдаемых там облаков. Средние значения нанесены на график по пяти уровням, на которые мы разделяем облака на [рисунке IV](#). Высоты и скорости облаков, где ординаты представляют высоты, а абсциссы скорости, и, следовательно,

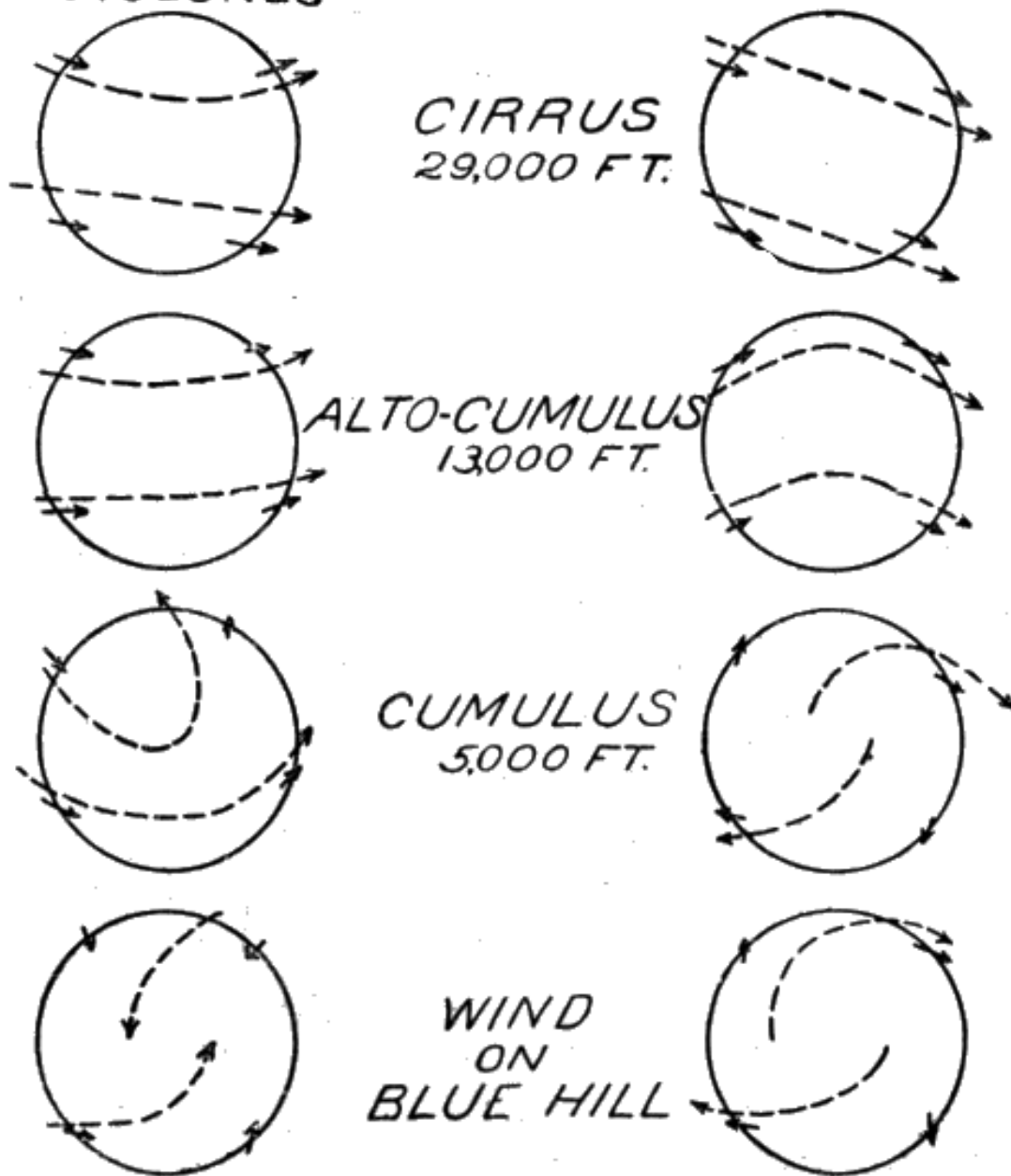
расстояния различных форм облаков над горизонтальным основанием указывают их высоты, а расстояния от левой вертикальной линии - их скорости. Для сравнения представлена скорость ветра на Блу-Хилл, расположенном на высоте нескольких сотен футов над общим уровнем местности. Средняя высота перистого облака составляет около 29 000 футов, но иногда это облако достигает 49 000 футов. Средняя высота кучевых облаков составляет около мили, но вершины кучево-нимбовых, или грозовых облаков, иногда достигают уровня перистых облаков. Обычно основание нимба, или дождевого облака, находится всего в 2300 футах над землей, и оно часто опускается ниже вершины Блу-Хилл, которая находится всего в 630 футах над уровнем моря. Поэтическое изречение о том, что "Зимой Земля плотнее закутывается в свои одежды", имеет научную основу, поскольку средняя высота всех облаков наибольшая летом и наименьшая зимой. Но в отношении их скорости верно обратное, поскольку зимой вся атмосфера движется в два раза быстрее, чем летом, а на более низких уровнях сезонные изменения еще больше. Средняя скорость перистых облаков составляет девять миль в час зимой и шестьдесят миль летом, но иногда зимой было обнаружено, что перистые облака развивают огромную скорость в двести тридцать миль в час. В среднем скорость течений увеличивается от самых низких облаков к самым высоким со скоростью около трех миль в час на каждые 1000 футов высоты, но вблизи земли увеличение с высотой происходит быстрее. Было обнаружено, что скорость нижних облаков меньше скорости ветра на горе той же высоты, что, возможно, можно объяснить предположением, что гора действует подобно плотине, ускоряющей поток воздуха над ней. Измерения в Швеции показали, что средний и верхний уровни облаков выше, чем в Америке, но они движутся менее быстро. Это может быть связано с тем, что поверхности воздуха с одинаковой температурой в Соединенных Штатах выше, чем в Швеции, из-за направления верхних течений, в то время как большая скорость наших высоких облаков соответствует более быстрому перемещению областей с низким и высоким атмосферным давлением над Соединенными Штатами.

Эти результаты наводят на размышления. Например, было подсчитано, что энергия верхней половины массы атмосферы, или той ее части, которая находится выше 18 000 футов, в шесть раз превышает энергию нижней половины, в которой мы живем, и пока что ни один из этих огромных запасов энергии не используется человеком. Хотя кажется очевидным, что ни один воздухоплавательный шар или летательный аппарат никогда не сможет остановить огромную скорость верхних слоев атмосферы, какой бы разреженной она ни была, возможно, в будущем воздушные машины воспользуются преобладающими течениями в верхних слоях атмосферы, как наши парусные корабли используют пассаты. Наблюдения за перистыми облаками в различных частях света показывают, что они всегда движутся в общем западном направлении, в то время как ниже этого первичного дрейфа на восток возникают относительно постоянные или временные перепады давления, которые вызывают отклонения от нормальной циркуляции атмосферы и вызывают локальную циркуляцию при штормах. На знакомой ежедневной карте погоды можно заметить, что обычно какая-то часть отмечена как "низкая", а другая - как "высокая". Первая представляет собой область низкого барометрического давления, в которую ветры у земли дуют по спирали внутрь в [в направлении, противоположном](#) повороту стрелок часов; вторая представляет собой область высокого барометра, из которой ветры у земли дуют в обратном направлении. Первые, когда они хорошо развиты, называются "циклонами" и обычно сопровождаются штормовой погодой, а вторые, называемые "антициклонами", приносят хорошую погоду. Из наблюдений за направлениями, с которых движутся облака в циклонах и антициклонах, мы обнаружили, что выше уровня кучевых облаков (на высоте около мили)

направление ветра внутрь в циклоне и направление наружу в антициклоне исчезают, и преобладает общий дрейф с запада. Результаты наблюдений приведены на [фото V](#). Циркуляция атмосферы в циклонах и антициклонах, представляющих участки атмосферы, концентрические земной поверхности, в пяти уровнях облачности, видимых сверху. Стрелки летят вместе с ветром и пропорциональны по длине его скорости, пунктирные стрелки указывают на вероятный поток воздуха через циклоны и антициклоны, которые обозначены кружками, при этом предполагается, что их оси почти перпендикулярны поверхности Земли. Над кучевыми облаками можно наблюдать, что ветер в циклоне имеет тенденцию дуть с юго-запада спереди и с северо-запада сзади, в то время как в антициклоне имеет место обратное, что указывает на отклонение западного верхнего течения вправо в циклонах и влево в антициклонах. Это подтверждает теорию о том, что циклоническая циркуляция борется с общим атмосферным дрейфом с запада, который увеличивается с высотой, и выше высоты в милю становится больше, чем циклоническое влияние. На более высоких уровнях атмосферная циркуляция контролируется главным образом постоянным температурным градиентом между экватором и полюсом, сезонным температурным градиентом между океаном и континентом, а в Соединенных Штатах - прохождением "теплых и холодных волн". Исследования мистера Клейтона показывают, что движение верхних слоев облаков почти параллельно линиям одинаковой температуры у поверхности Земли. Высокая температура, расширяя воздух вверх, вызывает в верхних слоях воздуха высокое давление; а низкая температура, сужая воздух к земле, вызывает в верхних слоях воздуха низкое давление, так что линии равного давления в верхних слоях воздуха параллельны нижним линиям равной температуры, и поскольку в верхних слоях воздуха мало трения, движение ветра почти параллельно линиям равного давления. Ниже уровня кучевых облаков ветры следуют нормальной циклонической и антициклонической циркуляции. Существуют две теории происхождения этих областей высокого и низкого давления: "ведомая теория", которая предполагает, что они черпают свою энергию и дрейфуют за счет общего движения атмосферы с запада на восток, и "конвекционная теория", которая приписывает их формирование и прогрессирование разнице температур между ними и прилегающим воздухом. В то время как наблюдения над горами свидетельствуют в пользу теории движения, однако спиральное движение перистых облаков внутрь над антициклоном, указывающее на более низкое давление, чем в окружающем воздухе, противоречит гипотезе, а недавние наблюдения с воздушными змеями в Блу Хилл убедительно подтверждают конвекционную теорию циклонов.

ATMOSPHERIC CIRCULATION

AT DIFFERENT HEIGHTS IN
CYCLONES ANTICYCLONES



Табличка V.

Связь облаков с прогнозированием погоды была исследована в Blue Hill. Например, обнаружено, по крайней мере в этом регионе, и вопреки общему мнению, что перистые облака не указывают на дождь, но предсказывают изменение температуры, пропорциональное скорости движения облаков. За альто-кучевыми облаками в течение двадцати четырех часов трижды из четырех идет дождь. Дождь следует за появлением всех высоких и промежуточных

облаков наиболее часто, когда облака наиболее плотные в какой-либо западной точке и когда они приходят с запада. Мистер Свитленд, ассистент, изучил особые формы облаков в их связи с последующей погодой. Он приходит к выводу, что перистые перья предшествуют ясной погоде, в то время как за плотными сгустками перисто-кучевых облаков следует дождь. Округлые подвески, или сгущенные облака, на нижних уровнях указывают на дождь, но на верхних уровнях - на хорошую погоду. Из всех форм за темным слоистым покровом и линзовидными облаками чаще всего следует дождь. Из облаков, предвещающих изменение температуры, башенчато-кучевые облака, связанные с грозами, предшествуют наибольшему понижению температуры, а следующими по порядку идут линзовидные облака, чешуйчатые перистые облака и высоко-кучевые облака. Как правило, сухим и прохладным погодным условиям предшествуют плоские и слоистые облака, которые быстро формируются и исчезают, а также облака, изменяющие форму на более высоком уровне.

Будет видно, что это современное изучение облаков как средства прогнозирования просто дополняет погодные пословицы, дошедшие до нас со времен Теофраста. Однако, похоже, что одна только форма облаков обычно не может служить для предсказания дождя более чем на сутки, но за несколько часов до этого появление определенных форм облаков часто дает наблюдателю более достоверные признаки надвигающегося дождя, чем синоптическая карта погоды. Для синоптика, владеющего телеграфными данными, преобладание быстро движущихся перистых облаков на обширной территории указывает на быстрое движение шторма с внезапными и заметными изменениями погоды и температуры, в то время как медленно движущиеся перистые облака указывают на незначительные изменения температуры и сухую погоду. Направление перистых движений перед центром шторма и вокруг него обычно указывает на будущее движение шторма, который имеет тенденцию продвигаться в том же общем направлении.

Работа, сделанная в Blue Hill, показывает важность наблюдений за облачностью для выяснения общих движений атмосферы, а также циркуляции воздуха выше барометрических максимумов и минимумов, что практически позволяет делать точные прогнозы погоды на день или два вперед. Систематическое наблюдение за верхними течениями было доведено до сведения Международного метеорологического комитета доктором Хильдебрандссоном в 1885 году, а на заседании Международного комитета по облакам в 1894 году, помимо принятия номенклатуры облаков и инструкций по их наблюдению, было решено, что наблюдения за их движением, а также измерения их высоты должны проводиться в различных частях света. Соответственно, год, начинающийся 1 мая 1896 года, был обозначен как "Международный год облаков", и наблюдения с помощью нефоскопов за направлением движения и относительной скоростью облаков были начаты на многих станциях в Европе и Азии, а также на пятнадцати станциях в Соединенных Штатах. Тригонометрические измерения высоты облаков проводились на станциях в Норвегии и Швеции, России, Финляндии, Пруссии и Франции, а также в Торонто, Маниле и Батавии; в Соединенных Штатах уже описанные измерения были возобновлены в Блу-Хилл, а Бюро погоды оборудовало аналогичную станцию в Вашингтоне. В Европе считается, что определение высот с помощью фотограмметров, как называются теодолиты с прикрепленными к ним фотокамерами, обладает преимуществами перед визуальными теодолитами, и это правда, что на планшетах регистрируется не только вид облаков, но и доступно для расчета столько точек на облаке, сколько можно идентифицировать на двух планшетах, выставленных одновременно на обеих станциях. С другой стороны, в случае почти однородных или темных слоев облаков легче увидеть точки для измерения на облаке, чем зафиксировать их на

фотопластинках. По этой причине, а также из-за сложности управления фотограмметром, визуальные приборы были приняты на вооружение как в Блу-Хилл, так и в Вашингтоне. Работа успешно продолжалась до 1 мая 1897 года, и наблюдения и измерения в Блу-Хилл были сокращены в соответствии с планом, предписанным Комитетом. Уже опубликованы наблюдения и измерения, сделанные в Упсале, Маниле и Блу-Хилл, а за ними последуют и другие. Обсуждение коррелированных данных из различных стран, вероятно, расширит наши знания о циркуляции атмосферы, которая, безусловно, является одним из самых интересных и важных вопросов в физике земного шара. Результат будет достигнут благодаря международному сотрудничеству, польза которого для науки сегодня очевидна повсюду. Но для решения проблемы в целом необходимо не только знать движение воздуха, но и, насколько это возможно, установить его тепловой и влажностный режимы. Этого можно достичь с помощью воздушных шаров и воздушных змеев, которые будут описаны в оставшихся главах.

ГЛАВА III

ВОЗДУШНЫЕ ШАРЫ —ЗАМЕТНЫЕ ВОСХОЖДЕНИЯ И ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ —ВОЗДУШНЫЕ ШАРЫ В НЕВОЛЕ

В первой главе рассказывалось об изобретении воздушного шара с горячим воздухом и водородом и говорилось, что 1 декабря 1783 года Шарль поднялся из Парижа на высоту 9000 футов. Общественный интерес во Франции был сильно возбужден этим чудесным расширением сферы деятельности человека, и многочисленные восхождения на *Монгольфьерах* и *Шарлерах*, как назывались соответственно воздушные и водородные шары, состоялись в Париже и провинциях. Возможности использования воздушного шара казались бесчисленными, и Академия наук поручила Лавуазье составить отчет о ценности нового открытия. Подробно описав восхождения, свидетелем которых он был, великий химик остановился, потрясенный множеством проблем, которые мог решить воздушный шар. История, однако, показала, что коммерческое применение воздушного шара было невозможно, и что помимо его впечатляющей привлекательности, его главным образом использовали для научных наблюдений.

Первыми людьми в Англии, посвятившими себя воздушной навигации, были иностранцы. Двое из них были итальянцами, философ Тибериус Кавалло, который уже в 1782 году показал лондонскому собранию, что мыльные пузыри, наполненные водородом, будут подниматься вверх, и, следовательно, почти предвосхитил изобретение воздушного шара с водородом, и дипломат Винсент Лунард, совершивший несколько смелых восхождений на воздушном шаре в 1784 году. Но честь совершить первое научное путешествие на воздушном шаре принадлежит бостонцу, доктору Джону Джеффрису. Доктор Джеффрис окончил Гарвардский колледж в 1763 году, а затем практиковал медицину в Англии, где стал лоялистом и во время революции находился в рядах британских войск. В Лондоне он заинтересовался воздухоплаванием и с помощью Королевского общества поднялся на воздушном шаре, потому что, по его словам, "я хотел более четко определить следующие моменты: во-первых, способность подниматься или опускаться по своему усмотрению, находясь в подвешенном состоянии и паря в воздухе; во-вторых, эффект, который весла или крылья могут оказывать на достижение цели и направление

курса воздушного шара; в-третьих, состояние и температуру атмосферы на разных высотах от земли; и, в-четвертых, наблюдая за изменяющимся направлением потоков воздуха или ветров на определенных высотах". , чтобы пролить какой-то новый свет на теорию ветров в целом ". Французский профессиональный аэронавт по имени Бланшар совершил три восхождения во Франции и одно в Англии, и доктор Джеффрис заплатил сто гиней, чтобы сопровождать Бланшара в его пятом восхождении, которое было совершено из Лондона 30 ноября 1784 года. Он взял с собой термометр, барометр, гигрометр, электрометр и морской компас, а также несколько пронумерованных бутылок, наполненных водой и снабженных стеклянными пробками, которые должны были быть опорожнены и закупорены на разных высотах в атмосфере. Было решено записывать наблюдения на разлинованной бумаге серебряной ручкой, потому что врач не доверял обычной ручке или карандашу, поскольку они могли привести к несчастному случаю. У него также была карта Англии, чтобы определить направление полета воздушного шара. О чувствах Джеффриса к англичанам свидетельствует следующая цитата из его рассказа: "Я предоставил красивый британский флаг, который на следующий день в одной из публичных газет был с завистью представлен как флаг американских Штатов". Показания барометра и термометра проверялись каждые несколько минут, а гигрометра - время от времени. Электрометр не менял своих показаний. Были получены образцы воздуха и отправлены в Королевское общество, но, похоже, они никогда не анализировались. Воздушный шар поднялся почти на две мили и через полтора часа благополучно приземлился в Кенте. Наблюдения Джеффриса выгодно отличаются от тех, что были сделаны до недавнего времени; действительно, за почти столетие в аппарате было мало улучшений. Снижение температуры, которое обнаружил Джеффрис, а именно. высота 1 ° на 360 футов, а также уменьшение влажности с высотой очень хорошо согласуются с более поздними наблюдениями.

Джеффрис и Бланшар предприняли более опасное путешествие 7 января 1785 года из Дувра через Ла-Манш, приземлившись в провинции Артуа, после того, как, как гласит объявление, "мы были подвешены и парили в атмосфере два часа над морем и сорок семь минут над землей Франции". Путешественников сердечно приветствовали, и их щедро развлекали в Париже, поскольку, по словам Джеффриса, они были "первыми, кто пересек море из Англии во Францию воздушным путем". Никаких инструментов, кроме барометра и компаса, при себе не имели, и единственным научным результатом, заслуживающим внимания, было то, что воздушный шар, казалось, терял плавучесть над морем из-за того, что Джеффрис считал "силой притяжения над водой". Высота воздушного шара была измерена тригонометрически французскими офицерами в Кале, которые с помощью угловых измерений установили, что, когда воздушный шар находился на полпути через Ла-Манш, его высота составляла 4500 футов. Путешествия Джеффриса описаны довольно подробно, потому что первое научное путешествие на воздушном шаре обычно приписывают бельгийскому физiku Робертсону, который поднялся из Гамбурга в 1803 году на невероятную высоту 24 000 футов. Робертсон совершил свое третье восхождение в следующем году из Санкт-Петербурга в сопровождении академика Сахарова. Это было научное путешествие, организованное по просьбе Российской академии наук с целью установления физического состояния атмосферы и ее составных частей на разных высотах, а также разницы между результатами вертикальных восхождений и наблюдениями Делюка, Де Соссюра, фон Гумбольдта и других над горами, которые, как было справедливо установлено, не могли быть настолько свободны от земных влияний, как те, которые были сделаны на открытом воздухе. Среди экспериментов, предложенных Академией, были следующие: изменение

скорости испарения жидкостей, уменьшение или увеличение магнитной силы, наклон магнитной стрелки, увеличение теплоты солнечных лучей, более слабые цвета в спектре, влияние разрежения воздуха на организм человека, а также некоторые другие химические и философские эксперименты. Была достигнута высота около двух миль, и было сделано много интересных наблюдений, но поскольку приборами в корзине воздушного шара пользоваться было непросто, результаты оказались неудовлетворительными и требовали повторения для получения окончательных результатов.

Парижская академия наук приступила к исследованию со специальной целью доказать, уменьшилась ли магнитная сила, как предполагали Робертсон на воздушном шаре и Де Соссюр в Альпах. Для проведения исследований были выбраны два молодых физика, Био и Гей-Люссак. Они поднялись из Парижа 24 августа 1804 года, снабженные всеми необходимыми приборами, но воздушный шар был слишком мал, чтобы подняться выше 13 000 футов. Гей-Люссак в одиночку поднялся на высоту 23 000 футов 16 сентября 1804 года на воздушном шаре, наполненном водородом. Его наблюдения подтвердили те, которые он сделал с Био, а именно, что магнитная сила не изменилась, и на основании взятых проб воздуха он доказал, что химический состав воздуха неизменен. Его наблюдения за температурой, по-видимому, подтвердили теорию о снижении температуры на 1° на высоте 300 футов. Воздух оказался очень сухим, и Гей-Люссак заметил, что на самой большой высоте облака все еще были далеко над ним.

Пройдя несколько заметных восхождений в других странах, научные полеты на воздушном шаре были возобновлены только в 1850 году на земле, где зародился воздушный шар. Затем мсье Барраль и Биксио совершили два восхождения из Парижа в дождливую погоду на высоты 19 000 и 23 000 футов соответственно, хотя они ожидали достичь вдвое большей высоты. Их наиболее интересными наблюдениями были огромная толщина облачной массы, которая в одном случае составила 15 000 футов, и внезапное падение температуры в ней с $+15^{\circ}$ до -39° . Некоторые любопытные оптические явления были связаны с плавающими кристаллами льда, и хотя было обнаружено, что небесный свет сильно поляризован, свет, отраженный от облаков, не был поляризованным.

Теперь поле деятельности было перенесено в Англию, где под эгидой Британской ассоциации Джон Уэлш из обсерватории Кью совершил четыре восхождения на большом воздушном шаре *Нассау*, которым управлял ветеран-аэронавт Грин. Особой целью этих исследований, как и во Франции, было определение температуры и гигрометрического состояния воздуха на различных высотах. Кроме того, для анализа были взяты пробы воздуха на разных высотах, а свет, отраженный от облаков, был исследован на поляризацию. Понимая, что из-за спокойствия, царящего в кабине воздушного шара, и сильной солнечной радиации это повлияет на показания термометра, Уэлш поместил термометры в полированные трубки, через которые воздух нагнетался сильфоном. Это был первый атмосферный термометр, который сам по себе показывает истинную температуру воздуха с учетом условий, преобладающих на воздушном шаре. Прибор канул в лету всего несколько лет назад, и с этим фактом связаны фиктивные температуры, обычно получаемые воздухоплавателями. Уэлш достигал высот от 12 500 до 23 000 футов, и его наблюдения показали, что температура воздуха равномерно понижалась с высотой, пока на определенной высоте, изменяющейся в разные дни, снижение не прекращалось, и на протяжении 2000 или 3000 футов температура оставалась почти постоянной или даже слегка повышалась; впоследствии регулярное понижение

возобновлялось и обычно поддерживалось менее быстрыми темпами, чем в нижних слоях воздуха, и начиналось с более высокой температуры, чем была бы, если бы не перерыв. Также была продемонстрирована изменчивость снижения в зависимости от времени года. Влажность не сильно менялась с высотой, и нигде не было очень сухо. Наконец, было доказано, что свет облаков не поляризован, и был подтвержден постоянный состав атмосферы.

В 1861 году Британская ассоциация выделила еще один денежный грант на проведение экспериментов с воздушными шарами под руководством Комитета мистера Джеймса Глейшера, который в то время занимался геодезическими и метеорологическими работами в Англии. Между 1862 и 1868 годами Глейшер в сопровождении аэронавта Коксвелла совершил тридцать восхождений. Они трижды достигали высоты, превышающей 23 000 футов, и один раз более 29 000 футов, когда они поверили, что воздушный шар поднялся до 37 000 футов. Основными объектами экспериментов Глейшера были следующие: определение температуры воздуха и его гигрометрических условий на расстоянии до пяти миль, сравнение барометра-анероида с ртутным, определение электрического состояния воздуха и его кислородного состояния с помощью озоновых бумаг, времени вибрации магнита на разных расстояниях от земли. Второстепенными объектами изучения были состав воздуха, форма и толщина облаков, атмосферные течения, акустические явления и т.д. Для получения большого количества наблюдений были необходимы частые восхождения, так как островное положение Англии исключало длительные путешествия. В течение 1869 года подъемы на аэростате в неволе на высоту до 1700 футов дополнялись использованием свободного аэростата, который из-за своего быстрого подъема и падения делал невозможными наблюдения с него вблизи земли. Глейшер был хорошим наблюдателем; его приборы были превосходны и были ранее протестированы, но их воздействие в корзине воздушного шара было плохим, и хотя термометр был снабжен аспиратором, подобным Уэлшу, Глейшер, заметив, что показания совпадают с показаниями свободно выставленного термометра, поспешно пришел к выводу, что в использовании аспиратора нет необходимости, и поэтому выбросил его.

До недавнего времени результаты Глейшера считались отражающими условия свободного воздуха вплоть до наибольшей высоты, которой только можно было достичь. Эти результаты показали, что температура падала неравномерно с высотой, но наиболее быстро она падала вблизи земли и гораздо менее быстро на больших высотах. В облачную погоду на высоте до мили среднее снижение температуры в дневное время мало отличалось от теоретического значения в 1° на 300 футов, но в ясную или частично ясную погоду снижение было более быстрым, начиная с 1° на 160 футов у земли и уменьшаясь до 1° на 1000 футов на высоте, превышающей шесть миль. Наблюдения на воздушном шаре на высоте до трети мили показали суточную амплитуду вертикального понижения температуры. Наблюдения за относительной влажностью совпали с данными Уэлша, показав небольшое увеличение примерно до полумили, затем снижение до более чем пяти миль, где, по-видимому, почти полностью отсутствовала вода. Другие наблюдения были неубедительными, за исключением того, что было обнаружено, что время вибрации магнита несколько больше, чем на земле, что противоречило опыту Гей-Люссака. Самое замечательное из восхождений Глейшера было совершено из Вулверхэмптона 5 сентября 1862 года, когда менее чем за один час он преодолел высоту в пять миль, превысив самую большую высоту, достигнутую до сих пор. Цитирую рассказ Глейшера: "До этого времени я проводил наблюдения с комфортом и не испытывал затруднений с дыханием, в то время как мистер Коксвелл из-за напряжения, которое ему приходилось прилагать, некоторое время дышал с трудом. Выпустив песок, мы поднялись еще выше; аспиратор стал мешать работе, и я

также обнаружил, что мне трудно ясно видеть ... Примерно в 1 час 52 минуты или позже я показал на термометре с сухой колбой значение минус 5 °; после этого я не мог видеть ни столбика ртути в термометре с влажной колбой, ни стрелок часов, ни тонких делений какого-либо прибора. Я попросил мистера Коксвелла помочь мне разобраться с приборами. Однако в результате вращательного движения воздушного шара, которое продолжалось без перерыва с момента отрыва от земли, трубопровод клапана запутался, и ему пришлось покинуть машину и забраться на кольцо, чтобы отрегулировать его. Затем я посмотрел на барометр и обнаружил, что его показания составляют 9 с половиной дюймов, продолжая быстро уменьшаться и подразумевая высоту, превышающую 29 000 футов. Вскоре после этого я положил руку на стол, обладая всей ее силой, но, желая пустить ее в ход, обнаружил, что она бессильна... Попытавшись пошевелить другой рукой, я обнаружил, что она тоже бессильна. Затем я попытался встряхнуться, и мне это удалось, но, казалось, у меня не было конечностей Я смутно видел мистера Коксвелла и попытался заговорить, но не смог. В одно мгновение меня охватила глубокая темнота, так что зрительный нерв внезапно потерял мощность, но я все еще был в сознании, с таким же активным мозгом, как и в настоящий момент, когда пишу это. Я думал, что меня охватила асфиксия, и верил, что больше ничего не испытаю, поскольку смерть наступит, если мы не будем быстро спускаться; другие мысли приходили мне в голову, когда я внезапно потерял сознание.... Я ничего не могу сказать о чувстве слуха, поскольку ни один звук не достигает воздуха и не нарушает совершенной тишины в районах на высоте от шести до семи миль над землей. Мое последнее наблюдение было сделано в 1 час 54 минуты на высоте 29 000 футов Находясь в беспомощном состоянии, я услышала слова "температура" и "наблюдение", и я знала, что мистер Коксвелл был в машине, разговаривал со мной и пытался разбудить меня Затем я услышал, как он заговорил более решительно, но не мог видеть, говорить или двигаться. Я снова услышал, как он сказал: "Попробуй; теперь попробуй!" Затем инструменты стали смутно видны, затем мистер Коксвелл, и очень скоро я ясно увидел ... Мистер Коксвелл сказал мне, что, находясь на ринге, он почувствовал пронзительный холод, что горловина воздушного шара покрыта инеем, и что при попытке покинуть ринг он обнаружил, что у него замерзли руки. Поэтому ему пришлось опереться руками о кольцо и опуститься вниз.... Он хотел подойти ко мне, но не мог; и когда он почувствовал, что на него тоже наваливается бесчувственность, ему захотелось открыть клапан. Но из-за того, что он потерял способность пользоваться руками, он не мог этого сделать; в конце концов ему это удалось, он ухватился зубами за веревку и два или три раза окунул голову, пока воздушный шар не сделал решительного поворота вниз. Из-за моей бесчувственности никаких неудобств не последовало; и когда мы приземлились, это было в местности, где нельзя было достать никакого транспорта, так что мне пришлось пройти пешком от семи до восьми миль Я уже говорил, что мое последнее наблюдение было сделано на высоте 29 000 футов; в это время (1 час 54 минуты) мы поднимались со скоростью 1000 футов в минуту; и когда я возобновил наблюдения, мы спускались со скоростью 2000 футов в минуту. Эти два положения должны быть связаны, принимая во внимание интервал времени между ними, а именно. 13 минут, и исходя из этих соображений, воздушный шар должен был достичь высоты 36 000 или 37 000 футов. Опять же, очень тонкий минимальный термометр показывал минус 11 ° .9, и это давало высоту 37 000 футов. Мистер Коксвелл, спускаясь с ринга, заметил, что центр барометра-анероида, его синяя стрелка и веревка, прикрепленная к машине, находились на одной прямой, и это давало показания в семь дюймов и приводило к тому же результату. Следовательно, все эти независимые пути ведут примерно на одну и ту же высоту, а именно. целых семь миль ".

Косвенные свидетельства мистера Глейшера о высоте, которой он достиг, в последнее время подвергались критике, частично из-за его предположения, что скорость воздушного шара при подъеме и падении в течение тринадцати минут была одинаковой, но главным образом из-за предположения, что люди могли выжить в этой зоне смерти, по крайней мере, без искусственных средств дыхания. Хотя несомненно, что наблюдения Берсона, которые описаны ниже, были сделаны на большей высоте, чем наблюдения Глейшера, все же следует отдать должное этому Нестору авиационной и метеорологической науки Великобритании, который все еще живет в преклонном возрасте девяноста лет.

Примеру Глейшера не последовали в Англии, но он снова пробудил интерес к воздушному шару во Франции, где ММ. Фламарион, де Фонвиль и Тиссандье совершили множество восхождений в научных целях и представили результаты в популярной форме общественности. Фотосъемка с воздушного шара, как правило, неудачна из-за сильного отражения от верхних слоев облаков и дымки, которая скрывает землю. Следовательно, для создания сценических эффектов мы должны полагаться на наброски, на которые можно сослаться в этой интересной, но теперь довольно редкой книге *"Путешествия по воздуху"*. Высокие слои атмосферы часто наполнены мелкими кристаллами льда, которые, хотя и невидимы снизу, вызывают любопытные оптические явления, и некоторые из них были зарисованы месье Альбером Тиссандье, который обладает тем преимуществом, что является не только аэронавтом, но и художником.

Из множества рассказов о полетах на воздушном шаре одним из самых захватывающих является "трагедия *Зенита*". В 1875 году, благодаря сотрудничеству Французской академии наук и других научных организаций, было организовано два полета, одно продолжительное, другое на большую высоту, на воздушном шаре *Zenith*. Долгое путешествие из Парижа в Бордо было успешно совершено за двадцать четыре часа, и 15 апреля *Zenith* снова вылетел из Парижа, на борту были Гастон Тиссандье и Кроче-Спинелли, с Сивелем в качестве аэронавта. По совету месье Поля Берта, выдающегося физиолога, для облегчения дыхания были предоставлены три маленьких баллона с кислородом. Научная аппаратура была следующей: был устроен насос для подачи воздуха по трубкам, заполненным калием, в котором хранилась углекислота на разных высотах в атмосфере, чтобы анализ мог определить, уменьшается ли ее доля на больших высотах; использовался спектроскоп для изучения линии водяного пара в атмосфере, и были предоставлены два анероидных барометра, один из которых показывал давление, соответствующее высотам до 13 000 футов, другой - давление между 13 000 и 30 000 футами. Там же были две барометрические трубки, регистрирующие самое низкое давление, а также термометры и другие научные приборы. На высоте 15 000 футов путешественники начали дышать кислородом, который был с пользой использован Сивелем и Кроче-Спинелли во время высокого восхождения в прошлом году. На высоте 24 000 футов Тиссандье записал в своих записях: "У меня мерзнут руки. Я здоров. С нами все в порядке. На горизонте дымка с небольшими округлыми перистыми облаками. Мы поднимаемся. Кроче напрягается. Мы дышим кислородом. Сивел закрывает глаза, Кроче делает то же самое." Пять минут спустя: "Сивель выбрасывает балласт, температура -11 °С, барометр 300 миллиметров". После этого Тиссандье так ослаб, что не мог повернуть голову, чтобы посмотреть на своих товарищей. Он попытался схватиться за кислородную трубку, но не мог пошевелить руками. Его разум прояснился, и он увидел, что стрелка барометра опустилась ниже 280 миллиметров, показывая высоту 27 000 футов. Затем он потерял сознание. После получасового беспамятства он пришел в себя и

написал: "Мы снижаемся, температура -8° , барометр 315 миллиметров. Сбрасываю балласт. Кроче и Сивель без сознания на дне корзины. Мы быстро падаем." Он снова впал в оцепенение, из которого его вывел Кроче, тряс его за руку и говорил: "Выбросьте балласт!" - что он и сделал вместе с насосом, обертками и т. Д. Что произошло после этого, неизвестно, но, вероятно, воздушный шар, таким образом облегченный, и газ в нем был теплым, снова поднялся почти так же высоко, как и раньше. Когда Тиссандье пришел в себя, воздушный шар падал со страшной скоростью, а на дне корзины, которая сильно раскачивалась из стороны в сторону, скорчились двое его товарищей с черными лицами и окровавленными ртами. Удар о землю был ужасающим, но якорь выдержал, и вскоре воздушный шар опустел. Из барометрических данных представляется вероятным, что *Зенит* дважды достигал высоты около 28 000 футов, и что удушье от длительного отсутствия достаточного количества кислорода убило двух спутников Тиссандье и едва не оказалось смертельным для него.

Эта катастрофа отбила охоту к дальнейшим попыткам достичь больших высот, и, за исключением восхождения на высоту 23 000 футов во Франции, совершенного М. Джовисом и Малле, больше таких попыток не предпринималось до последнего десятилетия. Результаты метеорологических наблюдений оказались странно противоречивыми; например, температура в 40° ниже нуля, отмеченная Барралем и Биксио на высоте 23 000 футов, и 80° выше нуля, отмеченная американским аэронавтом Уайз на высоте 6000 футов. Пророчество о том, "что корзина воздушного шара станет колыбелью молодой науки метеорологии", казалось маловероятным, но, тем не менее, наблюдения с помощью воздушных шаров продолжали проводиться во Франции, Италии и России. В Соединенных Штатах серия восхождений на воздушном шаре была проведена Службой сигналов, в состав которой тогда входило Бюро погоды, и высота в 15 500 футов, достигнутая профессором Хейзенем в 1887 году, вероятно, является самой высокой, на которой проводились наблюдения в свободном воздухе в Америке.

Трудность получения истинной температуры воздуха с помощью воздушного шара велика, и без особых мер предосторожности наблюдения передают условия свободного воздуха еще хуже, чем наблюдения на горных вершинах. Во время быстрого набора высоты воздух поднимается в корзине воздушного шара, как вода в колодезном ведре, и поскольку воздушный шар дрейфует по ветру, он находится в относительном штиле, так что циркуляция воздуха отсутствует; на термометры, даже защищенные от прямых солнечных лучей, воздействует излучение от нагретого газового баллона наверху, и, кроме того, они недостаточно чувствительны, чтобы отслеживать изменение температуры воздушных слоев, которые так быстро пересекает воздушный шар. Барометр-анероид, по которому рассчитывается высота баллона, не может реагировать на быстрые изменения давления; следовательно, существует двойной источник ошибки при определении высоты, на которой измеряется температура. Обычно температуру воздуха можно довольно точно определить, вращая по кругу термометр, прикрепленный к шнуру, даже если это делается при солнечном свете. Во время двух восхождений автора на воздушном шаре было обнаружено, что в крайних случаях подвесной термометр показывал на 14° меньше, чем было зафиксировано автоматическими приборами, подвешенными в их обычном положении к кольцу воздушного шара. Однако подвесной термометр подвержен влиянию интенсивной инсоляции, и, кроме того, его нельзя выставлять достаточно далеко за пределы корзины воздушного шара, чтобы обеспечить хорошие результаты. Стандартный прибор для определения температуры воздуха при любых условиях, принятый для международного использования в 1898 году, является модификацией того, который использовался Уэльсом сорок пять лет назад. Этот прибор, являющийся изобретением доктора

Ассманна из Берлина, называется аспирационным термометром и предназначен для предотвращения нагрева корпуса, окружающего термометр, за счет инсоляции или теплопроводности, а также для обеспечения прохождения потока воздуха мимо колбочек термометра.

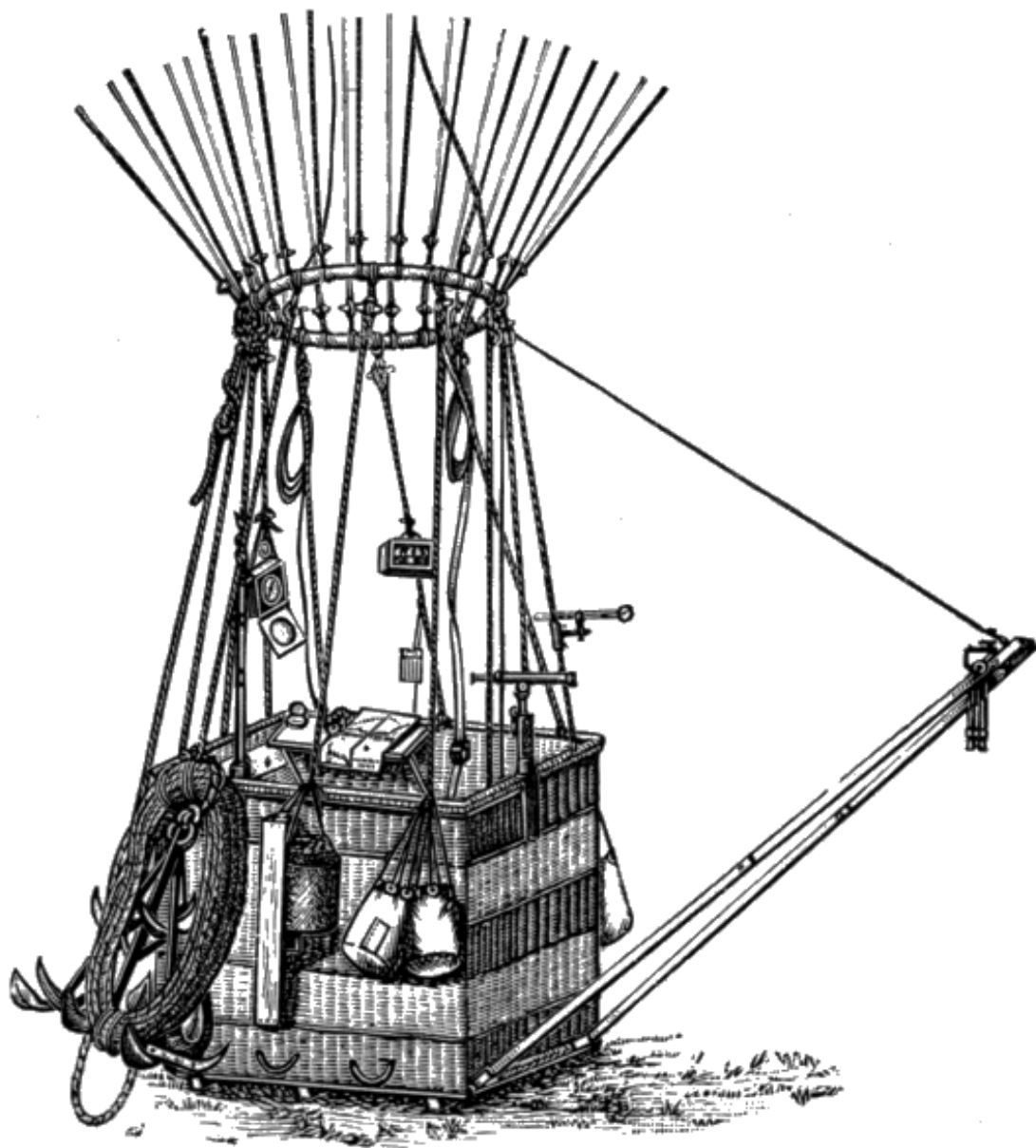


Рис. 3. Немецкий аэростат, оборудованный для метеорологических наблюдений.

Реорганизация наблюдений с аэростата была осуществлена Немецким обществом содействия воздушной навигации, которому помогали Прусский метеорологический институт и офицеры Корпуса воздушных шаров Немецкой армии. Германский император проявляет личный интерес к этой работе и помог ей, пожертвовав значительную сумму денег. Первое путешествие под руководством Общества было совершено в 1888 году, и за ним последовало много

примечательных. В 1891 году, благодаря любезности президента, доктора Ассманна, писатель совершил полет из Берлина на воздушном шаре, оборудованном для точных наблюдений, со специальной целью сравнить подвеску с аспирационным термометром. Каркас воздушного шара показан на [рис. 3](#). Спутником был ныне знаменитый доктор Берсон, который затем совершил свое второе восхождение, но сейчас стал опытным аэронавтом, совершив более пятидесяти восхождений, некоторые из которых были на большие высоты. 4 декабря 1894 года он в одиночку поднялся из Штассфурта, Пруссия, на *Финикс*, вероятно, на величайшую высоту, когда-либо достигнутую человеком, по крайней мере, в сознательном состоянии. Вдыхая кислород, он смог сохранить свои чувства и засечь показания барометра на отметке $9 \cdot 1$ дюйм, показывавшей приблизительно высоту 30 000 футов, а атмосферного термометра на отметке 54° ниже нуля. Обычный термометр показывал на солнце 11° ниже нуля, показывая, что его жар значительно уменьшился из-за дымки, которая царила даже на этой огромной высоте. Было обнаружено, что перистые облака, окружавшие воздушный шар, имели структуру снежных хлопьев, а не кристаллов льда. Главным результатом этого рекордного восхождения стали необычайно низкие температуры, зафиксированные на больших высотах, по сравнению с теми, которые наблюдали Глейшер, Тиссандье и другие. Инверсия температуры — то есть повышение температуры с высотой — преобладала на расстоянии до мили, но выше этого температура падала быстрыми и ускоренными темпами, которые приближались к адиабатическому падению выше 26 000 футов. Ветер, который был почти спокойным у поверхности земли, в верхних слоях атмосферы усилился до штормового и нес воздушный шар со средней скоростью тридцать шесть миль в час. Желая убедительно продемонстрировать, влияет ли островное положение Англии на температуру верхних слоев атмосферы, как было предложено, доктор Берсон решил совершить высокое восхождение в Англии во время преобладания барометрического максимума летом, когда воздушный столб будет аномально прогрет, а верхние изотермические поверхности приподняты. 14 сентября 1898 года, когда в Европе царила аномальная жара, Берсону представилась возможность пойти по стопам Глейшера. Берсон вместе с аэронавтом Спенсером на воздушном шаре *Excelsior* поднялся из Хрустального дворца в Лондоне на высоту 27 300 футов, где он наблюдал температуру -29° . Вдыхаемый кислород предотвратил вредные физиологические эффекты, за исключением дискомфорта, вызванного резким снижением температуры с 80° у земли всего тридцать пять минут назад. Температура сначала снижалась быстро, затем умеренно до трех миль, а выше она падала почти с адиабатической скоростью. Даже в этот жаркий летний максимум давления и, несмотря на морской климат и юго-западные течения, на высоте 27 000 футов царила температура около 29° ниже нуля, что было всего на несколько градусов теплее, чем Берсон наблюдал зимой на той же высоте над Германией. И все же Глейшер за все свои восхождения, два из которых превысили 26 000 футов, ни разу не зафиксировал температуру ниже 5° ниже нуля. Эти относительно высокие температуры, полученные также Уэлшем, Тиссандье и Гей-Люссаком, следует отнести за счет недостаточной защиты термометров от инсоляции, близости приборов к нагреваемой корзине и ее обитателям и, наконец, за счет медлительности самих термометров из-за отсутствия вентиляции при быстром прохождении через слои воздуха с различной температурой. [Табличка VI](#). указано изменение температуры с высотой, наблюдаемое во время четырех самых высоких восхождений на воздушном шаре в Европе и Соединенных Штатах. Точками обозначены наблюдения при подъеме, а крестиками - наблюдения при спуске; они соединены полными и прерывистыми линиями соответственно, наклон вверх влево показывает снижение температуры с высотой и *наоборот*. Для сравнения служат адиабатические линии, представляющие падение температуры на 1° по Фаренгейту на 183 фута подъема.

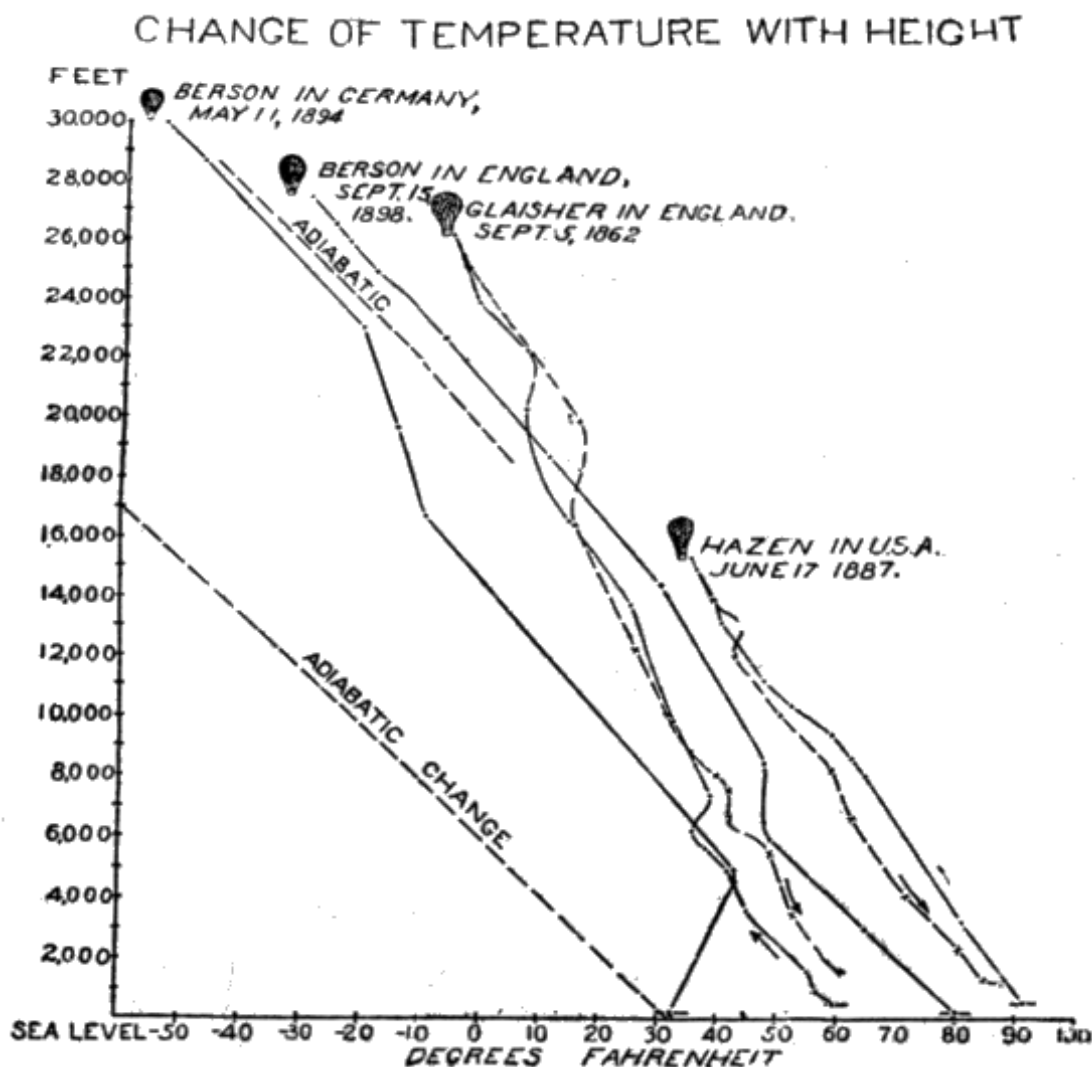


Таблица VI. — Температуры, наблюдаемые при четырех подъемах на воздушном шаре.

Этот рассказ о знаменитых восхождениях на воздушном шаре не следует завершать, не упомянув о самом смелом и уникальном из всех - путешествии мистера С. А. Андре к северному полюсу в 1897 году. Хотя это было путешествие с целью географических открытий, а не для исследования воздуха, все же необходимо было провести метеорологические и другие наблюдения, и Андре ознакомился с приборами и управлением воздушным шаром во время нескольких рейсов по Швеции. Успех полярного путешествия зависел в первую очередь от преобладания южных ветров и способности воздушного шара держаться на плаву достаточно долго, чтобы воспользоваться ими, даже если они будут легкими и временами переменчивыми. Следовательно, непроницаемость аэростата для водорода имела жизненно важное значение, и именно убежденность в том, что *Eagle* объемом 140 000 кубических футов не был ни достаточно большим, ни прочным, чтобы продержаться тридцать дней - время, которое могло потребоваться для достижения Берингова пролива, - побудила доктора Нильса Экхольма, метеоролога и физика, отказаться от участия в экспедиции. К сожалению, его опасения,

похоже, были вполне обоснованны, и вполне вероятно, что теперь мы должны оставить надежду на безопасность храброго Андре и двух его спутников.

Менее опасное путешествие на север через Альпы предприняли в 1898 году профессор Хайм, швейцарский геолог, и два его сотрудника под руководством итальянского аэронавта Спелтерини. С помощью автоматической фотокамеры, подобной той, что описана в следующей главе, надеялись получить вид на высокие Альпы сверху, что было бы одинаково ценно для геологических и топографических исследований. В связи с шестым международным полетом на воздушном шаре были проведены обширные метеорологические наблюдения, но была пересечена только Юра на высоте 13 000 футов, поскольку воздушный шар двигался в северо-западном направлении, а не на северо-восток, как ожидалось.

Много лет назад американские аэронавты Уайз и Дональдсон предложили пересечь Атлантический океан на воздушном шаре. Трудности, возникающие при таком предприятии, носят чисто технический характер, и, учитывая, что воздушный шар теряет газ так медленно, что его плавучесть может сохраняться в течение нескольких дней, кажется, нет причин, по которым такой воздушный шар на высоте четырех или пяти миль не мог бы пролететь из Сан-Франциско в Нью-Йорк или из Соединенных Штатов в Европу, поскольку движение верхних слоев облаков доказывает, что верхние слои атмосферы почти постоянно движутся с большой скоростью с запада на восток. Использование дирижабля было реализовано только в почти безветренную погоду, но аэронавт часто может изменить свое направление, поднимаясь или опускаясь при ветре, противоположном тому, при котором он путешествовал. Часто никакие облака не разделяют эти противоположные течения, которые становятся заметными только тогда, когда воздушный шар входит в них.

Упоминалось, что в 1869 году Глейшер проводил наблюдения на аэростате в неволе в Англии на высоте 1700 футов, чтобы изучить условия воздуха на таком расстоянии от земли, чего нельзя было сделать на свободном и быстро движущемся аэростате. Хотя подвесные воздушные шары часто используются в европейских городах для подъема людей, желающих насладиться видом с высоты 500 или 1000 футов, они, по-видимому, мало использовались научными наблюдателями со времен Глейшера. В 1890-91 годах воздухоплавательное общество в Берлине использовало аэростат в неволе в связи с наблюдениями на свободных аэростатах, которые были описаны. Вместимость этого аэростата составляла всего 5000 кубических футов, но этого было достаточно, чтобы поднять аппарат весом в шестнадцать фунтов, разработанный доктором Ассманом для регистрации атмосферного давления, а также температуры и относительной влажности воздуха. Воздушный шар, прикрепленный к тросу длиной 2600 футов, опускался с помощью паровой машины. Таким образом, стало возможным вести одновременные наблюдения на трех уровнях, а именно. у самой земли, в свободном воздухе на высоте около полумили и на самом высоком уровне, достигаемом свободным воздушным шаром. Но захваченный воздушный шар часто оказывается в невыгодном положении, поскольку ветер уносит его вниз, и хотя упомянутый метеорограф имел хитроумные устройства для нейтрализации сильных толчков, вызванных этим, и отскока воздушного шара после порыва ветра, все же это ухудшало автоматическую запись. Высота, на которую поднимался аэростат, была настолько уменьшена ветром, что вместо 2600 футов, которых аэростат достигал в безветренную погоду, когда трос был вертикальным, средняя высота двадцати четырех подъемов составляла лишь половину этой, а в очень ветреную погоду аэростат вообще не мог подняться.

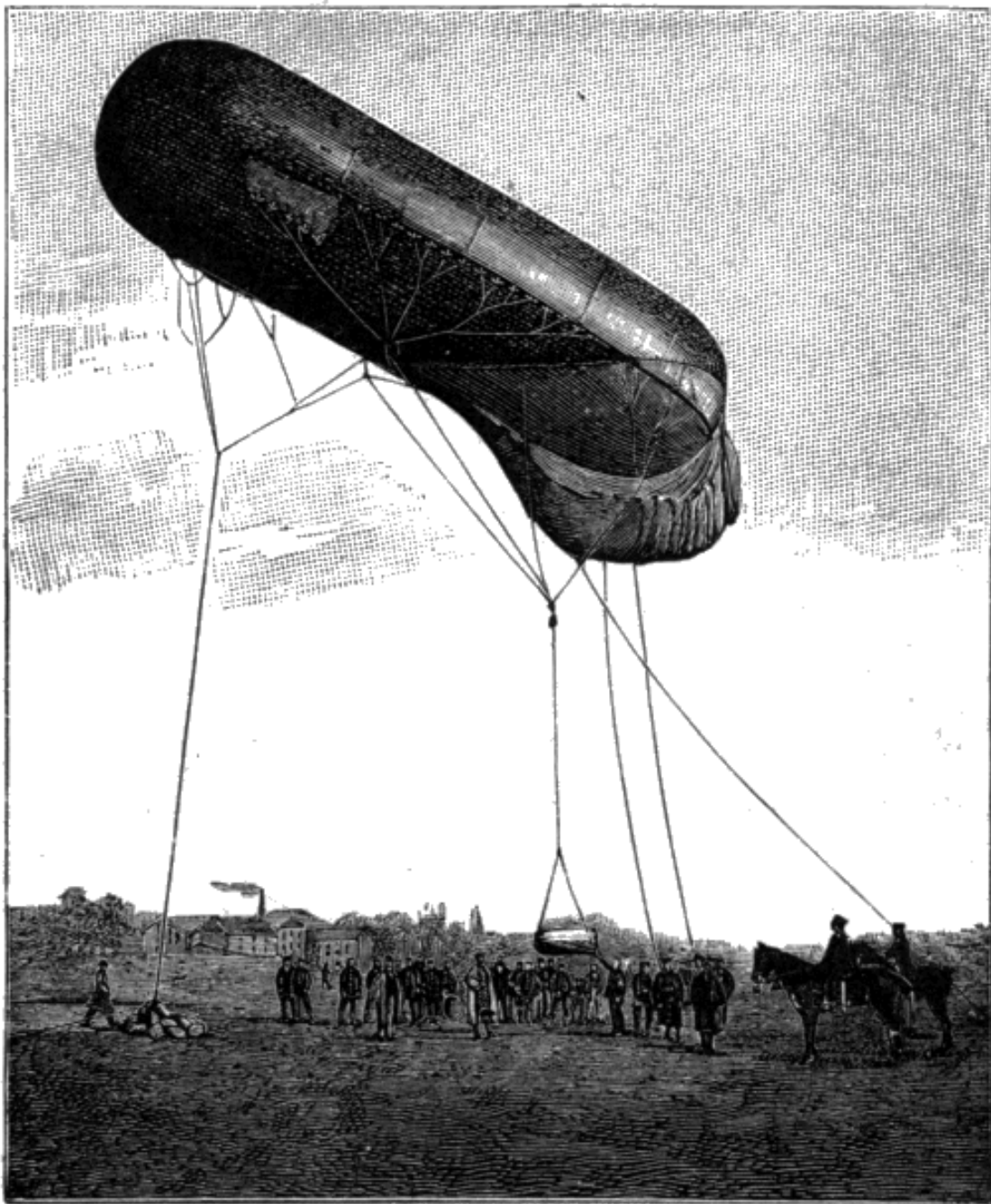


Рис. 4.Немецкий воздушный змей.

Чтобы устранить эти трудности, несколько лет назад двумя офицерами немецкой армии, лейтенантами фон Зигсфельдом и фон Парсевалем, был изобретен аэростат для аэрофотосъемки, способный противостоять сильному ветру, названный из-за его действия как воздушного змея *Drachen-Ballon* или воздушный змей-аэростат, и который в настоящее время успешно используется в немецкой армии и военно-морском флоте для разведки в любую

погоду. Воздушный змей меньшего размера, объемом 7700 кубических футов, заполненный либо водородом, либо осветительным газом, впервые был использован для подъема метеорологических приборов в Страсбурге в 1898 году, где он оставался на высоте нескольких сотен футов в течение двадцати четырех часов. Как видно из [рис. 4](#), воздушный шар имеет цилиндрическую форму с полусферическими концами и прикреплен к тросу наподобие воздушного змея, так что ветер поднимает его, а не сдавливает. Баллон разделен диафрагмой у его нижнего конца на две камеры, верхняя и большая из которых заполнена газом, в то время как нижняя камера посредством клапана, открывающегося внутрь, получает давление ветра, которое давит на диафрагму, и сохраняет колбасообразную форму баллона, несмотря на утечку газа. Другой аэродинамический мешок, окружающий дно воздушной камеры, служит рулем направления, а боковые плавники или крылья придают воздушному шару устойчивость относительно его более длинной оси. Приборы помещаются в корзину, подвешенную далеко под воздушным шаром. В случаях, когда у земли слабый ветер или его вообще нет, аэростаты в неволе могут оказать ценную услугу при метеорологических наблюдениях, но во всех остальных случаях воздушные змеи предпочтительнее. Причины этого утверждения будут приведены, когда мы рассмотрим воздушных змеев.

Из сказанного становится понятно, как много немцы сделали для развития научных полетов на воздушном шаре, однако их постоянные соперники, французы, нашли способ превзойти их в исследовании атмосферы. В течение нескольких лет между учеными обеих стран шла ожесточенная борьба за первенство в достижении величайших высот, но в 1896 году в Париже было объявлено перемирие, и с тех пор обе нации гармонично работали вместе. Дружеская встреча французских и немецких физиков в Страсбурге в 1898 году для согласования деталей сотрудничества стала олицетворением союза наций через науку, и хотя верно, что атмосфера не имеет границ и не может быть предрешена, давайте надеяться, что общие цели науки в конечном итоге сотрут даже политические границы.

ГЛАВА IV

ВОЗДУШНЫЕ ШАРЫ-ЗОНДЫ ДЛЯ БОЛЬШИХ ВЫСОТ—МЕЖДУНАРОДНЫЕ ВОСХОЖДЕНИЯ

Мы видели, что восхождение человека на высоту в шесть миль сопряжено с трудностями и опасностями, и даже имея оборудование для подачи необходимого для поддержания жизни кислорода, человек вряд ли может надеяться достичь гораздо больших высот. Следовательно, чтобы получить информацию об атмосферных слоях, лежащих выше шести миль, то есть те факты, которые необходимо установить в самой среде, мы должны использовать так называемые *баллоны-зонды*, оснащенные самопишущими приборами, но без наблюдателей. Этот метод, предложенный в Копенгагене еще в 1809 году, был впервые применен французскими воздухоплавателями Эрмите и Безансоном, которые, следует отметить, предложили попытаться достичь Северного полюса на воздушном шаре незадолго до того, как Андре объявил о своем плане.

Воздушный шар - лучший из анемометров, поскольку он определяет направление и скорость течений, в которых он плавает, и поэтому перед запуском воздушного шара с пилотируемым

кораблем принято запускать несколько небольших аэростатов-лоцманов, чтобы определить направление и силу верхних ветров. Даже если мы не знаем высоты течений, в которых они плавают, хотя это можно установить, измерив высоту воздушного шара тригонометрически или микрометрически, мы все равно получаем общее представление о направлении и скорости течений. С этой идеей месье Бонвалле в 1891 году отправил из Амьена, Франция, девяносто семь бумажных воздушных шаров, к каждому из которых была приложена почтовая открытка с указанием времени и места спуска. Шестьдесят из этих карточек были возвращены, почти все воздушные шары были отнесены верхним течением на восток, десять пролетели более ста тридцати миль, а один двигался со скоростью почти сто миль в час.

В следующем году эксперимент продолжили М. Эрмит и Безансон с воздушными шарами объемом тридцать пять кубических футов, и около половины из тех, что были отправлены из Парижа, были обнаружены в радиусе ста миль. Высота, на которую могут подниматься аэростаты, определяется следующими соображениями: чтобы подняться на 18 000 футов, где атмосферное давление вдвое меньше, чем у земли (см. [Таблицу I.](#)), аэростат, наполовину заполненный газом, должен оторваться от земли; чтобы подняться на 35 000 футов, где давление снижается до одной четверти, он должен быть способен стартовать вверх, когда заполнен на одну четверть, и так далее. На практике сила подъема обычно сначала уменьшается по различным причинам, таким как утечка газа, его охлаждение и отложение влаги снаружи воздушного шара. Следовательно, чтобы пробить облака, необходимо иметь значительный избыток силы подъема, но над облаками, поскольку нагревательный эффект солнца значительно возрастает с высотой, газ в воздушном шаре нагревается намного выше окружающего воздуха, и поэтому теоретические высоты превышены.

Установив, что воздушные шары, надутые ста пятьюдесятью кубическими футами угольного газа, будут подниматься на большую высоту, к ним были прикреплены простые и легкие регистрирующие приборы, а также почтовые открытки. Когда давление уменьшалось, aneroidный барометр прочерчивал линию на дымчатом стекле, а после спуска помещался под ресивер воздушного насоса, и давление, необходимое для воспроизведения этой линии, измерялось манометром. Исходя из этого, высоту можно было приблизительно вычислить. Максимальный и минимальный термометры имели хорошо известную U-образную форму, и в прилагаемых инструкциях содержалась просьба прочитать их, как только они будут найдены. Для последовательного отсоединения почтовых карточек было организовано медленное сопоставление, так что, если они были найдены и отправлены по почте, можно было определить след воздушного шара. Сначала эти воздушные шары назывались *ballons perdus*, или потерянные воздушные шары, но когда стало известно, что большинство из четырнадцати воздушных шаров, освобожденных из Парижа, были найдены, было дано название *ballons exploreurs*, которое впоследствии было изменено на *ballons-sondes*, или звучащие воздушные шары. Немцы называют их *Registrier-Ballons*, а по-английски они также обозначаются как беспилотные аэростаты. Когда один из этих бумажных шаров достиг высоты почти 30 000 футов, М.М. Эрмит и Безансон приступили к изготовлению воздушного шара из кожи золотого жука вместимостью 3960 кубических футов, чтобы перевозить лучшее инструментальное оборудование. Самопишущие приборы, изготовленные французской фирмой Richard Brothers, были хорошо приспособлены для этой цели, а комбинированный барометр и термометр, регистрирующие показания чернилами на вертикальном барабане, который поворачивается часовым механизмом внутрь, показаны на [рис. 5](#). Опорожненная пара коробочек В барометра приводит в действие нижнюю ручку, в то время как изогнутая трубка С, заполненная спиртом,

изменяя форму, приводит в движение верхнюю ручку и регистрирует температуру. Исходя из показаний барометра и температуры воздушной массы, по формуле Лапласа можно рассчитать высоту в любой час регистрации. Упомянутый воздушный шар был первым из так называемых *аэрофилов*, и при надувании угольным газом он мог поднимать семьдесят семь фунтов сверх своего собственного веса в сорок фунтов. В нем находились два описанных баротермографа и пачка информационных карточек, которые можно было отсоединять с помощью медленного сопряжения. Чтобы смягчить удар о землю, один из инструментов был подвешен на резиновых шнурах внутри плетеной корзины, которая при первом подъеме не была защищена от солнца. Было решено выпустить эти баллоны, полностью заполненные газом (а не частично, чтобы обеспечить его расширение), и сначала использовать всю возможную силу подъема, а не утяжелять баллон автоматическим устройством для сброса балласта (рис. 6). Суд над *Аэрофилом* состоялся 21 марта 1893 года, а на следующий день была возвращена одна из открыток с сообщением о его падении в департаменте Йонна, где были найдены поврежденные воздушный шар и инструменты. По размытым следам последнего было вычислено, что на высоте около 49 000 футов была достигнута температура -60° по Фаренгейту, причем и давление, и температура были самыми низкими, измеренными на воздушном шаре до того времени. Хотя данные, полученные в результате этого восхождения, были несколько сомнительными, все же была доказана возможность исследования атмосферы с помощью баллонс-зондов. Было видно, что огромная скорость подъема преодолевала ветер и позволяла проследить путь воздушного шара до вершины его траектории, воздушный шар выглядел как метеор, видимый при дневном свете, и поэтому его высоту можно было вычислить с помощью тригонометрических измерений; в то время как спуск, вызванный утечкой и охлаждением газа, был мягким и равномерным, что позволяло извлекать хрупкие инструменты неповрежденными.

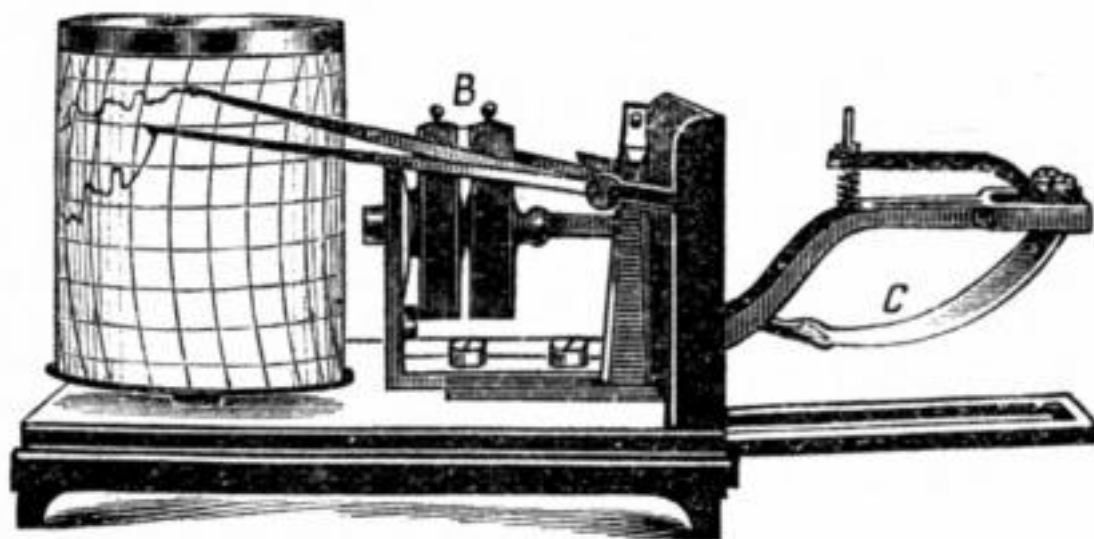


Рис. 5. Баротермограф Ришара.

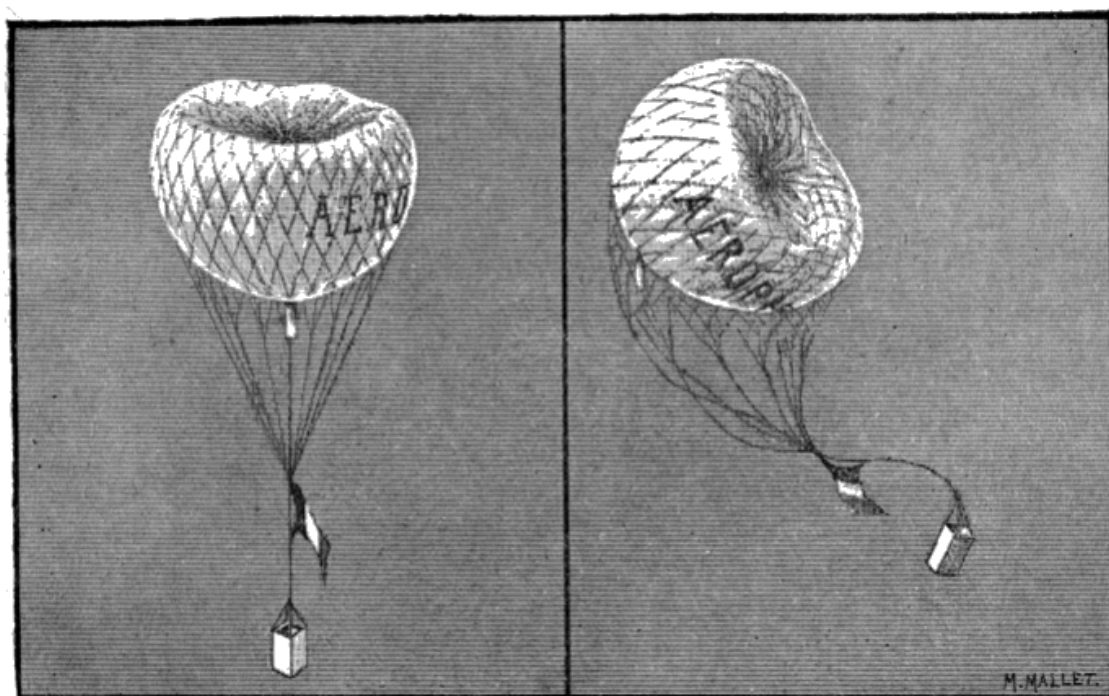


Рис. 6. Восход Аэрофила. На рисунке слева показана деформация, вызванная сопротивлением воздуха его быстрому подъему, а на рисунке справа - сильные колебания при первом освобождении.

Второе восхождение этого Аэрофилла стало последним, поскольку после падения в Шварцвальде он был сожжен детьми. Однако Месье Безансон, не отчаявшись, сконструировал *Aérophile II*. объемом 6300 кубических футов и усовершенствовал приборы, как подсказывал опыт. Записи часто прерывались из-за замерзания чернил, поэтому ручку заменили иглой для нанесения разметки с меньшим трением о прокопченную бумагу, окружающую барабан для грампластинок. Чтобы термометры не нагревались на солнце, их помещали в плетеный цилиндр, открытый с обоих концов и покрытый яркой металлизированной бумагой. Его подвешивали под воздушным шаром вертикальной осью, чтобы сквозняк через цилиндр при подъеме или падении воздушного шара противодействовал инсоляции, а при следующем подъеме примерно на той же высоте температура ниже на 36 ° по Фаренгейту указывала на эффект защиты. Для обеспечения независимой записи самой низкой температуры было использовано хитроумное устройство, состоящее из трубки термометра, заполненной спиртом и имеющей черные деления. Самая низкая точка, до которой опускался спирт, была зафиксирована на фотобумаге, помещенной за пробиркой, вся она была заключена в металлическую коробку, которая автоматически закрывалась при ударе о землю и таким образом предохранялась от вмешательства любопытных. До середины 1898 года на "Аэрофилах" было совершено десять рейсов, которые теперь были построены из лакированного шелка и вмещали 16 000 кубических футов газа.

Одной из искомых целей был сбор проб воздуха на больших высотах, но это не было достигнуто до недавнего времени. В первом устройстве для этой цели anerоидный барометр при заданном

давлении поворачивал кран, сообщающийся с выпускным ресивером, который заполнялся воздухом и затем закрывался. Кран протекал, поэтому затем было опробовано хитрое устройство для химического выделения тепла для герметизации стеклянной трубки. Это тоже не удалось, но, в конце концов, аппарат М. Кайе решил проблему. Желательно контролировать высоту, полученную на основе барометрических данных, путем прямых наблюдений до тех пор, пока аэростат остается видимым, и с этой целью микрометрические измерения производились с помощью телескопа, как только аэростат отрывался от земли. Также использовалась разновидность регистрирующего теодолита, который, будучи наведенным на аэростат, автоматически отслеживал на бумаге его азимут и угловую высоту. Эти записи в сочетании с барометрической высотой в известный час позволяли рассчитать пройденное расстояние по горизонтали и, следовательно, скорость, или, используя два таких прибора на концах базовой линии, можно было определить высоту воздушного шара.

Первые эксперименты с *баллонами-зондами* во Франции вскоре были повторены в Германии, где Немецкое общество содействия воздушной навигации получило прорезиненный баллон объемом 8700 кубических футов. При надутии угольным газом он имел подъемную силу около двухсот девяноста фунтов, превышающую его оболочку и т.д., весил девяносто три фунта, а метеорологический аппарат - шесть фунтов. *Cirrus*, как его называли, лопнул при первом испытании, но в июле 1894 года он совершил замечательное путешествие из Берлина к границе Боснии на расстояние семисот миль со средней скоростью шестьдесят две мили в час. Была зафиксирована максимальная высота 54 000 футов и минимальная температура -63 ° по Фаренгейту. *Cirrus* в своем третьем рейсе сопровождался пилотируемыми воздушными шарами, чтобы вести одновременные наблюдения на разных уровнях, и на этот раз он летел со скоростью восемьдесят три мили в час и поднялся на 61 000 футов. Предполагалось, что самая низкая температура в -88 ° по Фаренгейту будет слишком высокой по той причине, что, хотя вентиляции термометров на быстро поднимающемся или опускающемся воздушном шаре может быть достаточно для противодействия солнечной радиации, этого не будет, когда воздушный шар приближается к своей кульминационной точке с уменьшающейся скоростью. Поэтому доктор Ассманн, под чьим наблюдением проводились немецкие эксперименты, использовал термометр, который в закрытом баллоне наддувался электрически, но теперь приводился в движение грузиком, а позже, поскольку чернила застыли, регистрация была произведена фотографически. Эффективность аспиратора была замечена при упомянутом подъеме, поскольку, когда его действие прекратилось, была зафиксирована более высокая температура, хотя баллон продолжал подниматься. В апреле 1895 года *Cirrus* поднялся на необычайную высоту 72 000 футов, или более тринадцати с четвертью миль, где барометрическое давление снизилось до полутора дюймов ртутного столба. (На [фото I](#). эта крайняя и, возможно, чрезмерная высота не указана как высота *баллон-зонда*, но указано среднее значение трех самых высоких подъемов *Cirrus*.) Зафиксированная сравнительная теплота (-50 ° по Фаренгейту) заставила самого доктора Ассманна усомниться в точности обычных методов регистрации температуры при таких чрезвычайно низких давлениях. [Фото VII](#). показывает высоту в метрах и температуру в градусах по Цельсию во время восьми рейсов из Берлина до июня 1897 года.

Несмотря на соперничество и разницу во мнениях между немцами и французами относительно методов исследования верхних слоев атмосферы, было также искреннее желание сотрудничать, и Международная метеорологическая конференция, состоявшаяся в Париже в сентябре 1896 года, предоставила возможность принять соответствующие меры. Были приняты

резолюции, одобряющие восхождения на пилотируемых аэростатах, а также одновременные восхождения на баллонах-зондах в разных странах. Успешное использование воздушных змеев в Блу-Хилл для подъема самозаписывающих приборов более чем на милю в воздух привело к желанию провести аналогичные эксперименты в других местах. Для выполнения этих резолюций был назначен Международный комитет, председателем которого является профессор Хергезель из Страсбурга, а секретарем - ветеран парижской авиации и журналист Вильфрид де Фонвиль.

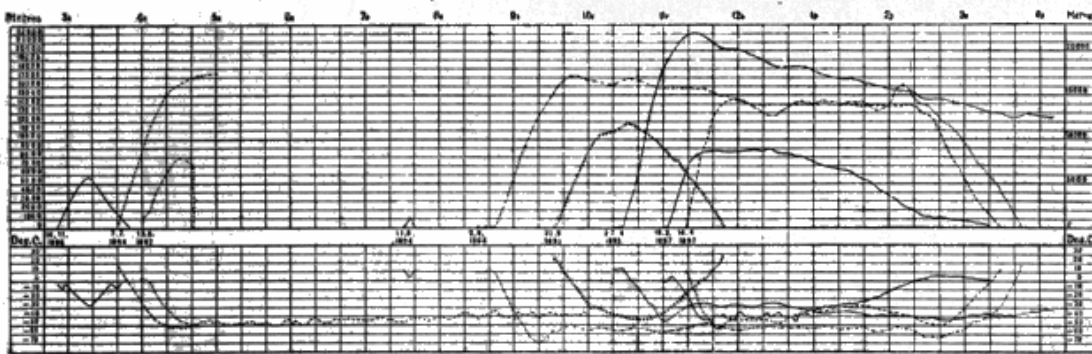


Фото VII. — Высоты и температуры, зарегистрированные при восьми восхождениях на *Cirrus*.
Нажмите на изображение выше, чтобы увеличить размер.

Было решено совершить ночное восхождение и использовать идентичные инструменты, чтобы наблюдения можно было производить повсюду в одинаковых условиях. Соответственно, ранним утром 14 ноября 1896 года во Франции, Германии и России были освобождены пять воздушных шаров, пилотируемых наблюдателями, и три баллона-зонда с регистрирующими приборами. С помощью автоматических диаграмм, полученных с баллон-зондов, и прямых наблюдений с пилотируемых аэростатов была предпринята попытка определить снижение температуры с высотой в вертикальных участках атмосферы, соединяющих различные центры, из которых стартовали аэростаты. Было доступно семь таких участков, соединяющих Париж и Страсбург, Берлин и Санкт-Петербург, Варшаву и Мюнхен и т.д., Но, к сожалению, наблюдений в высших слоях населения, как правило, не хватало.

В течение 1897 года было совершено еще три международных восхождения, в которых участники принимали менее активное участие. В это время было необходимо решить возникшие вопросы и составить планы на будущее, поэтому в 1898 году в Страсбурге было проведено заседание Международного комитета. Многие технические вопросы были урегулированы, но главным достигнутым результатом стало устранение недоразумений и предрассудков не только между французами и немцами, но и между самими немецкими представителями, поскольку, без сомнения, личное общение является величайшим благом подобных конференций. Хотя это не было неожиданностью, тем не менее было высказано сожаление, что никто не приехал из Великобритании, где со времен эпохальных полетов

Глейшера на воздушном шаре мало что было сделано для исследования воздуха. Положительные результаты Конференции были очевидны во время пятого международного восхождения, которое произошло ранним утром 8 июня 1898 года. Австрия и Бельгия присоединились к Германии, Франции и России, и область атмосферных исследований распространилась на значительную часть Европы. Из Парижа, Брюсселя, Берлина, Варшавы, Санкт-Петербурга, Страсбурга, Мюнхена и Вены был запущен настоящий воздушный флот, состоящий из двадцати одного воздушного шара, на тринадцати из которых находились наблюдатели, все они пользовались аспирационными термометрами, а восемь были оснащены только самопишущими приборами. Некоторые из последних аэростатов достигали высоты 50 000 футов, а первые достигали предельной высоты в треть этой высоты. В выбранный день атмосфера находилась в состоянии покоя, со слабыми переменными ветрами, за исключением высоты, где они дули, как обычно, с запада или юго-запада. Этих наблюдений было достаточно много, чтобы составить синоптическую карту на значительной высоте над Европой для сравнения с обычной картой, составленной на основе наземных наблюдений.

Помимо общей работы Международного комитета, французами были проведены специальные расследования, которые сформировали Аэростатическую комиссию в Париже. Были привлечены услуги выдающихся физиков, М. Кайе и Виолле, а в лице принца Ролана Бонапарта был найден щедрый покровитель. Теперь можно описать аппарат М. Кайе, предназначенный для сбора проб воздуха из высокогорных районов. Когда баллон достигает наибольшей высоты, кран специальной конструкции, приводимый в движение часовым механизмом, открывается и позволяет воздуху поступать в резервуар, в котором существует вакуум, а затем кран автоматически и герметично закрывается. Поскольку известно, что баллон достигает своей предельной высоты примерно за час с четвертью, время открытия крана регулируется таким образом, а закрытие происходит немного позже за счет его дальнейшего вращения. Чтобы защитить движущиеся части от сильного холода, в коробку, содержащую двигатель, помещается емкость, заполненная расплавленным ацетатом соды, так что, несмотря на сильный холод в высокогорных регионах, эта соль в кристаллическом состоянии выделяет достаточно тепла по крайней мере в течение нескольких часов. Во время подъема аэрофила был собран воздух на высоте 50 000 футов, который при анализе М. Мюнц показал то, что и предполагалось, а именно, что на этой высоте состав воздуха не сильно отличается от состава воздуха внизу. Небольшой избыток углекислоты, обнаруженный в верхнем воздухе, может быть вызван окислением смазки, используемой на кране, а меньшее количество кислорода, по сравнению с обычным воздухом, может быть вызвано поглощением этого газа смазкой или даже лужеными стенками медного резервуара. Устраняя все возможные источники ошибок при будущих восхождениях, М. Мюнц считает, что можно доказать, существуют ли реальные различия в воздухе на разных высотах, поскольку методы анализа сегодня достаточно точны, чтобы показать такие различия, если они существуют. Но поскольку вполне вероятно, что в областях, которые могут быть исследованы баллонами-зондами, воздух подвергается такому же перемешиванию, которое делает нижний слой воздуха практически однородным, естественно, будут обнаружены лишь самые незначительные изменения в его составе, что требует тщательных мер предосторожности во избежание ошибок. Несомненно, именно поэтому предыдущие измерения показали неизменный состав воздуха на меньших высотах.

Другим важным вкладом М. Кайе является устройство для измерения высоты воздушного шара с помощью фотографии с целью проверки формулы Лапласа, связывающей барометрическое давление с высотой. Идея состояла в том, чтобы заменить наблюдателей на земле, которые

иногда производили тригонометрические измерения описанного воздушного шара, фотографическим аппаратом, который находится в самом воздушном шаре и который с частыми интервалами должен автоматически фотографировать землю, над которой он пролетает, в то же время, когда на том же листе был сфотографирован барометр-анероид. Аппарат подвешен вертикально под воздушным шаром; в нижней части коробки находится объектив, который фотографирует землю, а в верхней части - второй объектив, который фотографирует поверхность барометра-анероида, расположенного на нужном расстоянии сверху. Часовой механизм производит экспозицию каждые две минуты, а чувствительная пленка, развернутая между объективами, получает изображения с каждой стороны. Если известны фокусное расстояние объектива, расстояние между двумя точками на земле и расстояние между двумя точками на фотографии, простая пропорция позволяет определить высоту воздушного шара в это время, и, следовательно, из барометрических данных можно вывести закон, связывающий давление с высотой. Аппарат был успешно использован при полете большого воздушного шара с наблюдателями, и было обнаружено, что точность определения высоты находится в пределах $\frac{1}{250}$. Если прибор будет использоваться на больших высотах, необходимо будет защитить барометр и камеру от очень низких температур. Помимо использования, для которого он был разработан, это устройство может служить для отслеживания маршрута воздушного шара и определения горизонтальной скорости в различных точках его пути.

Исследование верхних слоев атмосферы с помощью *шаров-зондов*, которые могут помочь так много исследований, был использован М. [Эмманюэль Виолле](#) получить актинометрических меры, то есть определить количество тепла, отдаваемого на солнце, или то, что называется "солнечной постоянной." Это было сделано в горах с различными результатами из-за меняющейся степени атмосферного поглощения. В областях, пересекаемых воздушным шаром, где давление воздуха снижается до нескольких дюймов ртутного столба, где полностью отсутствуют водяные пары и на высотах, до которых не доходит земная пыль, мера количества тепла, посылаемого солнцем земле, свободна почти от всех погрешностей, с которыми мы сталкиваемся на ее поверхности. Актинометр М. [Виолле](#) представляет собой, в принципе, медную сферу, почерневшую снаружи и имеющую внутри термометрический прибор, который регистрирует на некотором расстоянии. Под действием солнечных лучей сфера нагревается и достигает равновесия, когда потери от излучения и контакта с воздухом компенсируют выигрыш от поглощения прямого тепла. В то время как на низких уровнях атмосфера также вносит свой вклад в нагрев сферы, на больших высотах солнце светит с почти черного неба и само нагревает сферу. Поскольку воздушный шар следует за ветром, устройство защищено от воздушных потоков, которые в противном случае привели бы к ошибкам. Каждые двадцать минут экран отсекает солнечные лучи от сферы, чтобы она остыла до температуры воздуха, которая также регистрируется. Из-за своего веса этот аппарат еще не использовался *баллонным зондом*, но он успешно эксплуатировался на воздушном шаре с наблюдателями.

М. Тейссеренк де Борт, который активно занимается исследованием атмосферного воздуха с метеорологической точки зрения, сконструировал очень чувствительный термометр из лезвия немецкого серебра, вставленного в оправу из никелевой стали, которая не расширяется при нагревании. Он может вентилироваться вентилятором и, хотя чрезвычайно чувствителен к изменениям температуры, не подвержен ударам и, следовательно, хорошо приспособлен для использования в *баллонах-зондах*, которые быстро проходят через слои воздуха с изменяющейся температурой.

Из этого обзора разработки *баллонс-зондов* очевидно, что они предоставляют возможности получения данных в высоких слоях атмосферы, возможно, на расстоянии до пятнадцати миль и более, которые, хотя и подвержены неточностям, представляют большой интерес для физиков и астрономов. Метеоролога в основном интересует та часть атмосферы, которая находится в пределах двух-трех миль от земли, и, кроме того, для своих выводов ему требуются точные измерения. Новым и наиболее удовлетворительным способом получения этих данных являются воздушные змеи, и в оставшихся главах будет рассказано об этом методе исследования атмосферы и полученных результатах.

ГЛАВА V

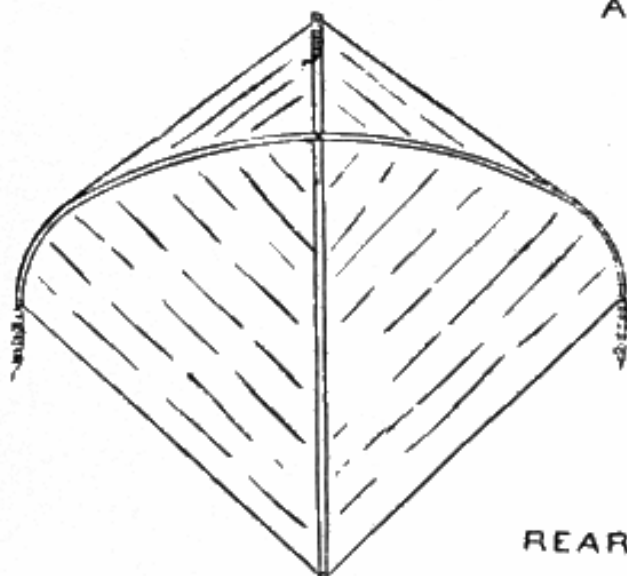
ВОЗДУШНЫЕ ЗМЕИ —ИСТОРИЯ И ПРИМЕНЕНИЕ В МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ЦЕЛЯХ На БЛУ ХИЛЛ И В ДРУГИХ МЕСТАХ

Предполагается, что воздушные змеи были изобретены Архитом за четыреста лет до христианской эры, и в Смирне запуск воздушных змеев по сей день остается национальным видом спорта. Нам рассказывают, что двести лет спустя китайский генерал Хань Син использовал воздушных змеев как средство связи с гарнизоном осажденного города, и существует легенда об их использовании в Японии для того, чтобы сбросить и унести золотое украшение с башни. Какой бы ни была правда в этих историях, мы знаем, что запуск воздушных змеев на Малайском архипелаге, в Китае и Японии на протяжении веков был развлечением для всех классов населения и что азиатские народы всегда были лучшими воздушными змеями мира.

Воздушные змеи с хвостами, по-видимому, были завезены в Англию около двухсот пятидесяти лет назад, и Исаак Ньютон, будучи школьником, внес в них некоторые усовершенствования. Несмотря на то, что поколения мальчиков запускали воздушных змеев и такой выдающийся математик, как Эйлер, исследовал их теорию, до недавнего времени воздушные змеи оставались игрушками, непригодными для практических целей. С тех пор как бесхвостый воздушный змей стал привычным объектом, в шутку поговаривали, что воздушные змеи потеряли свои хвосты в результате того же процесса эволюции, который лишил человека хвостового придатка; но поскольку воздушные змеи без хвостов запускались в Азии на протяжении веков, правда в том, что хвостатые воздушные змеи были первыми, кого завезли в Европу в качестве игрушек. Сегодня в Голландии мы видим мальчиков, запускающих английского воздушного змея и обычного воздушного змея со скрещенными палками, для обоих из которых требуются хвосты, а рядом с ними - бесхвостых воздушных змеев, привезенных из голландских колоний на Яве. [Рис. 7](#) представляет воздушного змея с восточного побережья Явы, нарисованного по модели из музея в Амстердаме, а также рисунок китайского воздушного змея-птицы из Национального музея в Вашингтоне. Как и большинство восточных воздушных змеев, они сделаны плоскими, но при воздействии ветра концы крыльев, каркас которых сделан из расщепленного бамбука, загибаются назад, обеспечивая таким образом устойчивость, которая в нашем обычном плоском воздушном змее достигается за счет опускания центра тяжести хвостом и поддержания наклона к ветру.

EAST COAST OF JAVA,

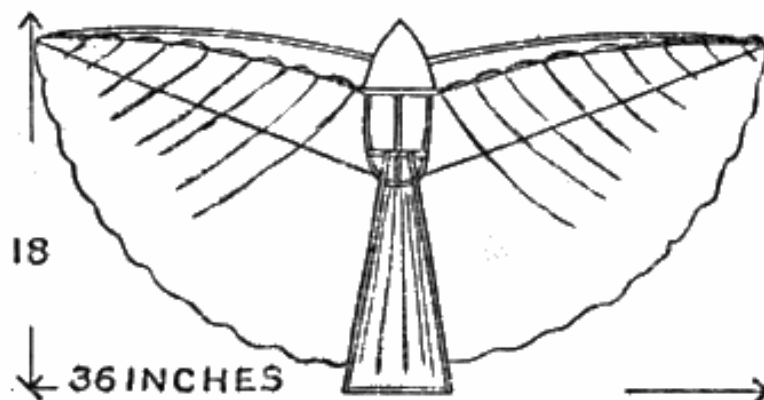
IN ETHN'L MUSEUM,
AMSTERDAM.



REAR VIEW

CANTON, CHINA,

IN NAT'L MUSEUM,
WASHINGTON.



WEIGHT 2 OZ. 1 DR.

REAR VIEW

Рис. 7. Восточные бесхвостые воздушные змеи.

Из исторических исследований, которые были стимулированы недавним практическим применением воздушных змеев, следует, что их первое использование в научных целях было в 1749 году, когда доктор Александр Уилсон из Глазго и его ученик Томас Мелвилл использовали воздушных змеев для подъема термометров. Их воздушные змеи, высотой от четырех до семи футов, обтянутые бумагой, были закреплены друг за другом, каждый воздушный змей занимал столько лески, сколько мог выдержать, тем самым позволяя своему спутнику взлететь на пропорционально большую высоту. Рассказывается, что "самый верхний из них поднимался на удивительную высоту, временами исчезая среди белых летних облаков, в то время как все остальные последовательно формировались вместе с ним в воздухе ниже такого высокого уровня, и это тоже сопровождалось такими регулярными и заговорщическими движениями, которые сразу превратили мальчишеское времяпрепровождение в зрелище, которое очень заинтересовало каждого зрителя Чтобы получить нужную информацию, они придумали, что термометры, должным образом закрепленные и с привязанными к ним пушистыми бумажными кисточками, следует сбрасывать в установленные промежутки времени с некоторых высших воздушных змеев, что достигалось постепенным поджиганием спичечного шнура ". Каким образом удалось предотвратить изменение показаний термометров при падении на землю, не объясняется. Отчет завершается так: "Хотя во время этих экспериментов они время от времени немедленно связывались с облаками, однако, поскольку это всегда происходило в хорошую погоду, под их наблюдение не попало никаких симптомов электрической природы. Великолепный анализ молнии и электричества в атмосфере оставался еще совершенно неоткрытым и был оставлен на два года дольше для прозорливости знаменитого доктора Франклина ". Следовательно, кажется, что знаменитый эксперимент Франклина по сбору электричества от грозовой тучи с помощью воздушного змея, проведенный в Филадельфии в 1752 году, не был его первым научным применением, и поэтому Америка может претендовать лишь на более позднее и наиболее замечательное развитие этого средства исследования воздуха.

Примерно в 1837 году в Филадельфии существовала организация под названием Franklin Kite Club, которая запускала воздушных змеев для развлечения. Эспи, выдающийся метеоролог, был членом организации, и он утверждает, "что в те дни, когда быстро и многочисленно образуются столбчатые облака, воздушный змей часто поднимался вверх почти перпендикулярно столбам восходящего воздуха", явление, которое часто наблюдается и сегодня. Эспи рассчитал высоту, на которой должны образовываться облака при охлаждении воздуха до точки росы, а затем использовал воздушных змеев для проверки своих расчетов высоты облаков. Следует помнить, что оба эти метода используются при измерении высоты облаков в Блу-Хилл. Воздушные змеи использовались для измерения температуры на высоте ста или более футов над Северным Ледовитым океаном в начале нынешнего столетия, а в 1847 году У. Р. Бирт запустил воздушного змея в обсерватории Кью, с помощью которого он надеялся получить измерения температуры, влажности, скорости ветра и т.д. Этот воздушный змей шестиугольной формы требовал трех расходящихся струн, прикрепленных к земле, чтобы удерживать его устойчивым, а инструменты должны были крепиться к воздушному змею с помощью шкива.

Возможно, первым человеком, поднявшимся в воздух на воздушном змее, была дама, которую более пятидесяти лет назад поднял на несколько сотен футов огромный воздушный змей, сконструированный англичанином Джорджем Пококом для использования в качестве воздушной обсерватории на войне, а также для передвижения экипажей по земле.

Впоследствии было предложено использовать воздушных змеев при кораблекрушениях для доставки людей или спасательных тросов на берег, и в 1865 году сэр Джордж Нейрс изобрел так называемого штормового воздушного змея с хвостом, состоящим из полых конусов. Эта форма хвоста, впоследствии использовавшаяся как для воздушных змеев, так и для воздушных шаров, очень эффективна, поскольку она обеспечивает все большее сопротивление по мере усиления ветра.

В 1882 году мистер Дуглас Арчибальд в Англии возродил использование воздушных змеев для метеорологических наблюдений и изложил всеобъемлющую схему исследования воздуха с помощью воздушных змеев, которая включала почти все, что было сделано с тех пор, но его фактическая работа, выполнявшаяся в течение следующих трех лет, была ограничена установлением увеличения скорости ветра с высотой. Для этого он прикрепил регистрирующие анемометры в четырех разных точках на канате воздушного змея, но поскольку общее движение ветра регистрировалось только с момента отрыва анемометров от земли до их возвращения, было невозможно получить одновременные записи вблизи земли и на воздушном змее, как это делается сегодня. Тем не менее, Арчибальд получил дифференциальные измерения скорости ветра на высоте 1200 футов. Воздушные змеи, которых он использовал, были ромбовидной формы, обтянуты шелком и запускались в тандеме с уже упомянутыми полыми конусами, прикрепленными к хвостам. Хотя медная и железная проволока использовалась для запуска воздушных змеев много лет назад, Арчибальд был первым, кто заменил струну стальной фортепианной проволокой, тем самым увеличив прочность при одновременном уменьшении веса, размера и стоимости лески. Мистер Арчибальд в 1887 году сделал первую фотографию воздушного змея - метод, который ММ Батут и Венц разработали во Франции, а г-н Дж. Эдди и Воглом в Соединенных Штатах.

Последующий прогресс в использовании воздушных змеев в метеорологических целях произошел в последней названной стране и может быть хронологически изложен следующим образом: в 1885 году мистер Александр Макэди (позже из Бюро погоды США) повторил эксперимент Франклина с воздушным змеем на Блу-Хилл с добавлением электрометра; в 1891, и снова в 1892 году он одновременно измерил электрический потенциал у основания Блу-Хилл, на холме и с воздушными змеями в качестве коллекционеров на высоте нескольких сотен футов над вершиной холма, примерно в то же время, когда доктор Вебер в Бреслау, Германия, более широко использовал воздушных змеев для той же цели. Без сомнения, именно Уильям А. Эдди из Байонны, штат Нью-Джерси, обратил внимание американских ученых на запуск воздушных змеев и вызвал широкий интерес к воздушным змеям, который существует и по сей день. Примерно в 1890 году мистер Эдди поднимал термометры с помощью обычного воздушного змея, но вскоре после этого изобрел бесхвостого воздушного змея, напоминающего яванского воздушного змея, за исключением того, что горизонтальная поперечина расположена ближе к вершине вертикальной палки, а ее концы загнуты назад дугой и соединены шнуром. Этот воздушный змей начинает подниматься вверх, удерживаемый на ветру на конце натянутой лески, и продолжает подниматься до тех пор, пока увеличивающееся давление ветра на участок над поперечной палкой не уравнивает давление на большую нижнюю часть. Воздушный змей не заваливается набок из-за неплотности покрытия с обеих сторон каркаса, и если с одной стороны материала больше, чем с другой, или если покрытие слишком плотное, чтобы образовывать карманы на ветру, воздушному змею требуется хвост.^[1]

[1] Хвост предотвращает переворачивание воздушного змея или "ныряние", потому что его вес удерживает нижний конец опущенным, в то время как давление ветра на хвост также оттягивает нижний конец назад и поддерживает необходимый угол наклона воздушного змея к ветру, наиболее эффективный угол составляет около 22 градусов. Загибание назад концов поперечной палки придает кайту устойчивость, потому что, когда из-за вихрей ветра на одну сторону кайта оказывается более сильное давление, эта сторона отклоняется назад, тем самым создавая менее эффективную поверхность для ветра, в то время как другая сторона выходит вперед почти под прямым углом к ветру, на нее оказывается большее давление, чем раньше. Таким образом, автоматически поддерживается равновесие вокруг центральной палки, а требуемый наклон к ветру обеспечивается большей поверхностью, обращенной к ветру ниже точки крепления уздечки.

В 1891 году мистер Эдди поднял минимальный термометр с помощью нескольких таких воздушных змеев, запущенных тандемом, и предложил получать таким способом данные для прогнозирования погоды. В *Материалах Авиационной конференции*, проведенной в связи с Чикагской выставкой, профессор М. В. Харрингтон, тогдашний глава Метеорологического бюро США, процитировал оценку мистера Эдди стоимости исследования воздуха с помощью воздушных змеев, запускаемых сериями, и выступил за их использование.

До настоящего времени не было похоже, чтобы самозаписывающие приборы, то есть те, которые делают непрерывные графические записи, были подняты воздушными змеями. Во времена первых экспериментаторов такие инструменты были слишком тяжелыми и громоздкими, чтобы их можно было поднять с помощью более или менее неуправляемых воздушных змеев, но в течение последних нескольких лет М. Ришар из Парижа создал простые и легкие записывающие приборы, описанные в связи с воздушными шарами, которые можно прикреплять к воздушным змеям. Таким образом, можно получить одновременные записи на воздушном змее и на наземной станции и на их основе изучить разницу температур и влажности, и, по-видимому, впервые это было сделано в обсерватории Блу Хилл. В августе 1894 года мистер Эдди привез своих воздушных змеев в Блу-Хилл и с их помощью поднял термограф Ричарда, который был частично реконструирован из алюминия мистером Фергюссоном так, что он весил всего 1 ¼ фунта, на высоту 1500 футов, и таким образом, с помощью воздушного змея была получена самая ранняя автоматическая запись температуры. В течение следующего лета мистер Эдди снова помогал в экспериментах в Блу-Хилл и сфотографировал Обсерваторию и холм с помощью фотоаппарата, который он переносил между своими воздушными змеями на высоту ста футов или более.

Теперь, когда была продемонстрирована возможность подъема самозаписывающихся метеорологических приборов на значительную высоту, сотрудниками обсерватории Блу Хилл, которые уже провели исследование движения облаков методами, описанными во второй главе, было предпринято исследование тепловых и гигрометрических условий свободного воздуха.

Разработка воздушного змея и вспомогательного оборудования к нему, а также приобретение знаний о том, как ими пользоваться, потребовали много времени и привели к повреждению или потере многих воздушных змеев. Два метеорографа, как называется комбинация двух или более

самопишущих приборов, были сброшены с большой высоты, и никаких следов от них обнаружено не было. Однако, когда из-за обрыва лески уносятся оба воздушных змея и инструмент, воздушные змеи действуют как парашют и мягко опускают инструмент на землю, где оба обычно извлекаются невредимыми; чтобы облегчить их возвращение, если они упадут на расстоянии, на каждом из них указаны название и адрес. Было бы утомительно описывать взлеты и падения научного управления воздушными змеями в Блу-Хилл до того, как ветер был успешно поставлен на службу науке, а воздушные змеи не могли зацепиться за рельсы или оторваться, поэтому будет дан лишь краткий отчет о ходе работы, а затем будут описаны методы, используемые в настоящее время. Сначала вихревые, или малайские воздушные змеи, как их еще называют, покрытые бумагой или покрытой лаком тканью, соединялись тандемом для обеспечения большей безопасности и подъемной силы. Принцип прикрепления воздушных змеев в нескольких точках лески был рано принят на вооружение в Blue Hill, поскольку, хотя теоретически можно продемонстрировать, что можно достичь большей высоты, сосредоточив всю силу натяжения на конце лески, все же в случае лески, которая не является бесконечно прочной, наилучшие результаты достигаются за счет распределения силы натяжения, и таким образом также можно добавлять воздушных змеев, если того требуют условия ветра на высоте. Чтобы избежать частой ломки изогнутой поперечины, мистер Фергюссон сделал ее из двух частей, каждая из которых была закреплена в металлическом гнезде на центральной палке, причем две части образовывали двугранный угол по направлению к ветру. Его преимущество заключалось также в том, что его можно было легко разобрать для транспортировки. Этот воздушный змей, показанный на [рис. 8](#), летел под большим углом над горизонтом и в значительном диапазоне скоростей ветра, но его нельзя было постоянно удерживать в равновесии или заставить приспосабливаться к большим колебаниям скорости ветра, и поэтому от него отказались.

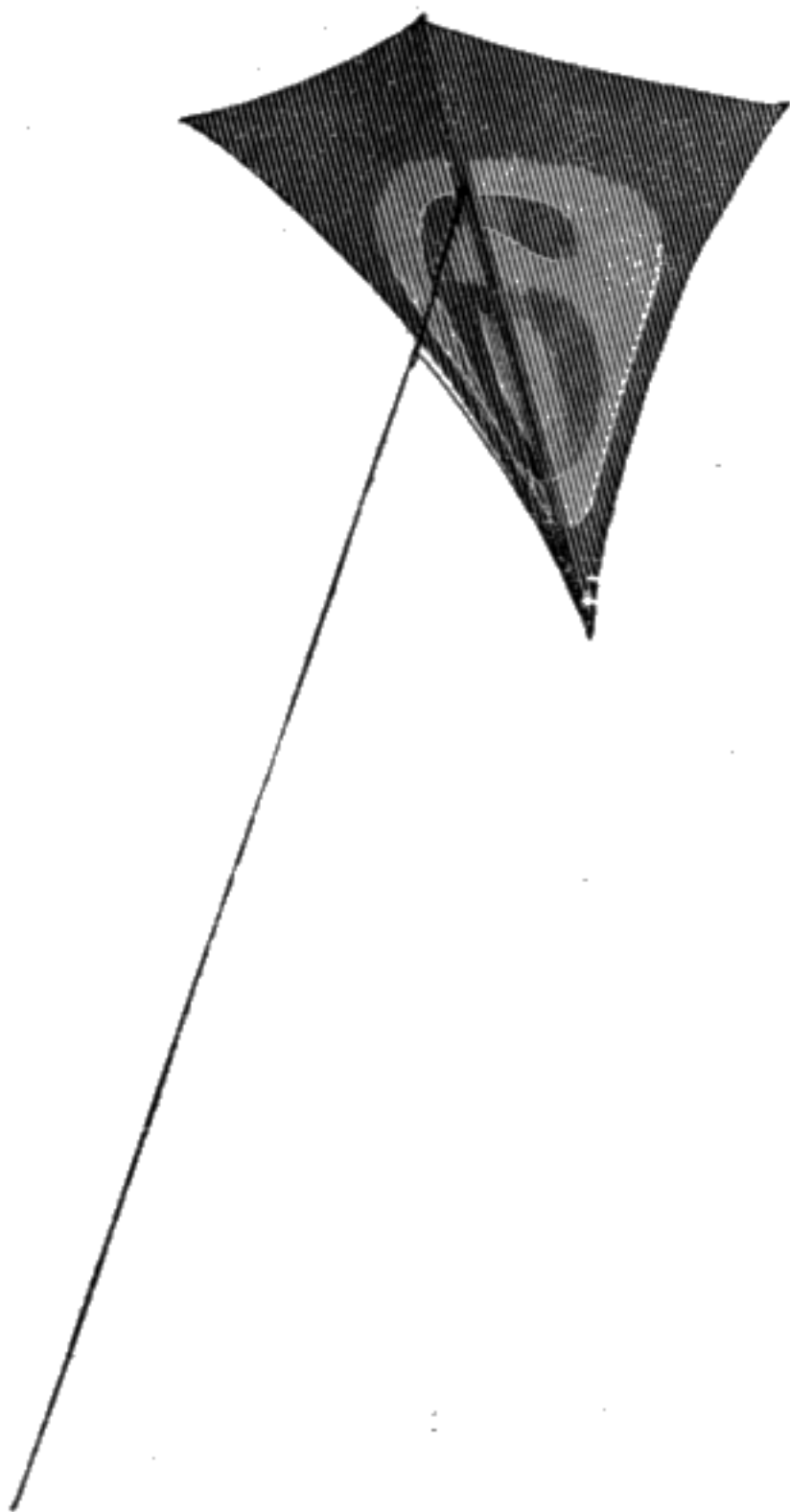


Рис. 8. Вихревой бесхвостый воздушный змей.

Первый метеорограф, комбинированный регистрирующий термометр и барометр (по которому можно вычислять высоту), был сконструирован мистером Фергюссоном в августе 1895 года, а

три месяца спустя он присоединил регистрирующий анемометр к термометру, который, вероятно, был первым устройством такого рода, прикрепленным к воздушным змеям. Метеорограф, регистрирующий атмосферное давление, температуру воздуха и относительную влажность, был заказан у М. Ришара из Парижа в 1895 году, подобный тому, который уже носили французские аэронавты, за исключением того, что, поскольку для воздушных змеев крайне важна легкость, М. Ришар впервые сконструировал этот тройной самописец из алюминия и, таким образом, уменьшил его вес до $2\frac{4}{9}$ фунтов. Один из этих метеорографов был подвешен к кольцу в месте крепления двух воздушных змеев к основной леске - метод, который использовался до недавнего времени. В августе 1895 года, помимо вихревых воздушных змеев, впервые был использован ячеистый или коробчатый воздушный змей, изобретенный Лоуренсом Харгрейвом из Сиднея, Австралия, который не имеет никакого сходства с обычными формами воздушных змеев и который, как предполагалось, не мог летать. Как видно из [рис. 9](#), он имеет вид двух световых коробок без верха и низа, закрепленных на некотором расстоянии друг от друга. Ветер оказывает свою подъемную силу главным образом на переднюю и заднюю стороны верхнего ящика, а нижний ящик наклоняется назад и, таким образом, получает меньшее давление, сохраняя равновесие. Концы коробок, находящиеся на одной линии с ветром, удерживают воздушного змея устойчивым и служат для создания двугранного угла в малайском воздушном змее. Говорят, что японцы летают в одноместном ящике, который является прототипом двухместной камеры Hargrave.

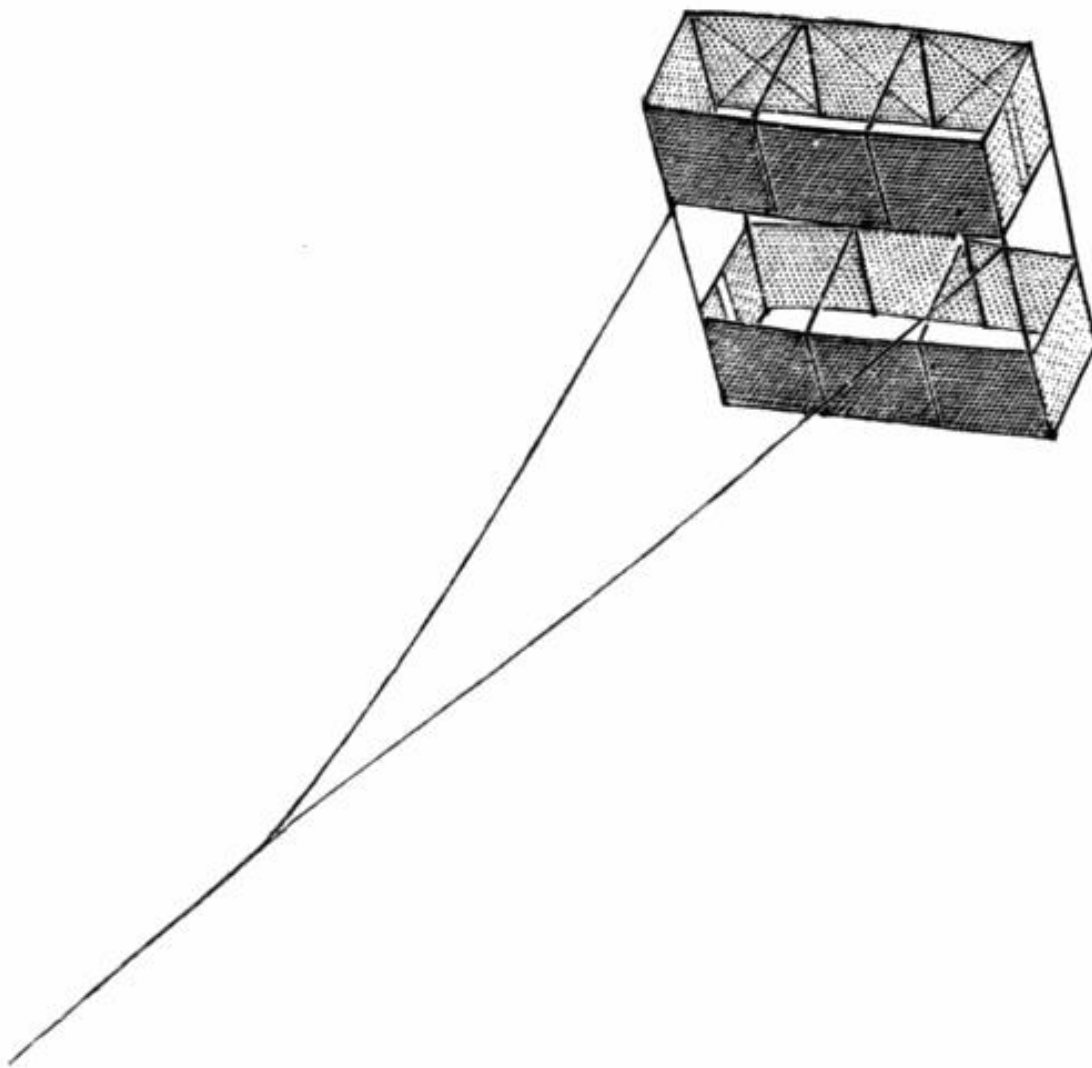


Рис. 9. Воздушный змей Харгрейва.

В настоящее время та или иная форма воздушного змея Харгрейва обычно используется в научных целях. Из-за веса большого шнура, необходимого для управления этими воздушными змеями, и поверхности, которую он представлял ветру, высота 2000 футов была недостижима, поэтому зимой 1895-6 годов, следуя примеру Арчибальда и методам глубоководного зондирования, использованным капитаном Сигсби, США, вместо шнура была заменена стальная проволока для фортепиано. Эта проволока менее чем в два раза тяжелее и менее чем в четыре раза меньше по размеру шнура, обладающего такой же прочностью, и, кроме того, ее поверхность отполирована, что уменьшает трение от ветра, дующего мимо нее. С помощью троса в июле была достигнута высота в милю, а в октябре 1896 года - в две трети мили над Голубым холмом.

До этого времени катушки, вращаемой двумя мужчинами, было достаточно, чтобы спустить воздушных змеев, но увеличивающееся натяжение и длина проволоки вынуждали прибегать к силе пара. В январе 1897 года из Фонда Ходжкинса Смитсоновского института был выделен денежный грант для получения метеорологических данных на высотах, превышающих десять

тысяч футов, и, без сомнения, первым применением пара для запуска воздушных змеев была лебедка, сконструированная мистером Фергюссоном с хитроумными устройствами для распределения, смазывания и измерения длины проволоки. Совокупное давление последовательных мотков проволоки в конце концов раздавило барабан, и в следующем аппарате был применен принцип глубоководного зондирования сэра Уильяма Томсона, в котором не происходит накопления давления. В октябре 1897 года были установлены рекорды с высоты одиннадцать тысяч футов, или на тысячу футов выше предписанной высоты.

Сейчас будут описаны воздушные змеи и аппараты, используемые в настоящее время в Блу Хилл.

Все воздушные змеи многоплоскостного типа, в основном конструкции Харгрейва с двумя прямоугольными ячейками. Эти ячейки покрыты тканью или шелком, за исключением верха и низа, и одна закреплена над другой четырьмя или более палочками. Деревянные каркасы максимально легкие, но сделаны жесткими благодаря опорам из стальной проволоки, которые скрепляют их во всех направлениях. Средний вес составляет около двух унций на квадратный фут подъемной поверхности, что примерно равно весу на квадратный фут воздушных змеев Eddy, если учесть в оценке всю поверхность. Самый большой из воздушных змеев Hargrave достигает девяти футов в высоту, весит одиннадцать фунтов и имеет девятью квадратными футами подъемной поверхности, которая в новейших воздушных змеях имеет дугообразную форму, напоминающую изгиб птичьих крыльев, конструкцию, предложенную много лет назад Филлипсом (рис. 10). Эти изогнутые поверхности увеличивают подъемную силу, или тягу вверх, больше, чем дрейф, или движение с подветренной стороны, и поэтому угловая высота увеличивается без существенного увеличения общего натяжения троса, которое не должно превышать половины его прочности на разрыв.

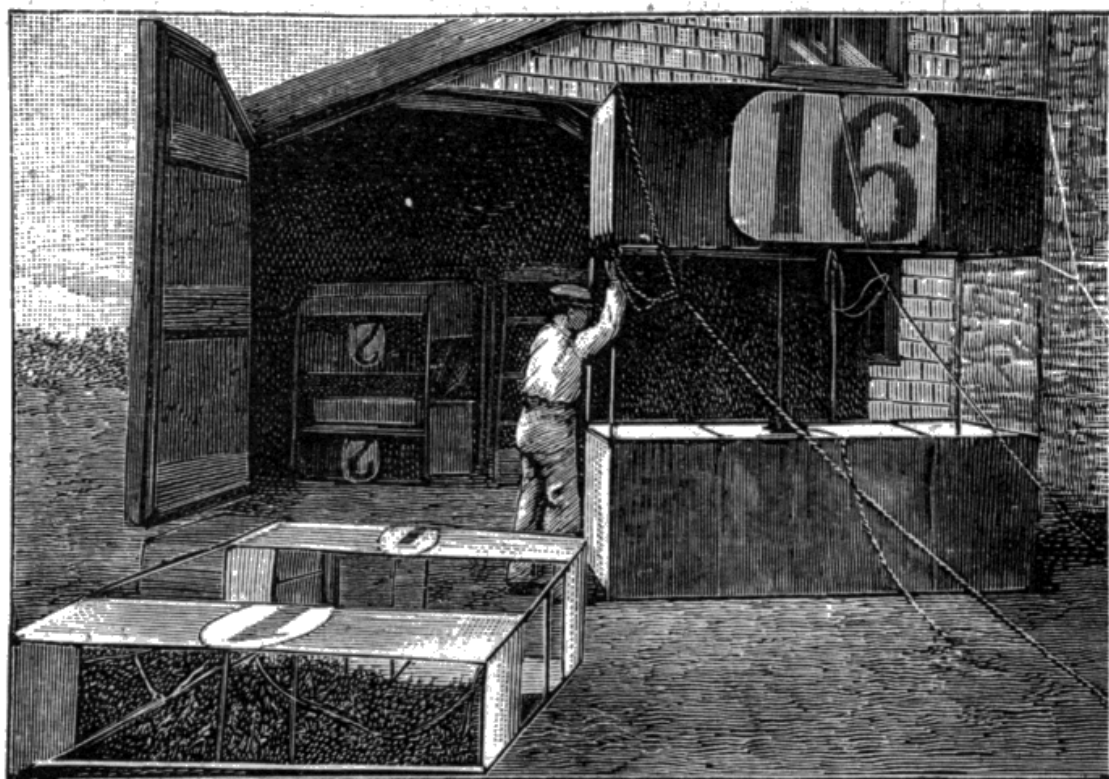


Рис. 10. Модифицированный воздушный змей Харгрейва в Блу—Хилл.

Возможно, самым важным фактором успеха проекта Blue Hill стало изобретение мистером Клейтоном регулирующей уздечки, которая прилагается к каждому воздушному змею. В нижнюю часть уздечки вставляется эластичный шнур, к которому прикрепляется леска, и когда давление ветра увеличивается, этот шнур растягивается и заставляет воздушного змея уменьшать угол падения по отношению к ветру до тех пор, пока порыв ветра не утихнет. Воздушный змей может быть настроен на натяжение только фиксированной величины при самом сильном ветре, когда воздушный змей летит почти горизонтально. Таким образом, мы можем рассчитать максимальное натяжение, которое могут приложить к проволоке все воздушные змеи. С помощью этого устройства воздушные змеи пролетали сквозь порывы ветра со скоростью пятьдесят-шестьдесят миль в час, не отрываясь и не травмируясь. Еще одним эффективным воздушным змеем, который использовался в Blue Hill, является так называемый "воздушный змей с аэродинамическим изгибом", изготовленный мистером К. Х. Ламсоном из Портленда, штат Мэн. Как видно из [рис. 11](#), этот воздушный змей напоминает парящую птицу, и его можно разобрать и сложить для хранения или транспортировки.

Как правило, угол наклона лески воздушных змеев Blue Hill составляет 50° или 60° над горизонтом, а при ветре в двадцать миль в час натяжение лески составляет около одного фунта на каждый квадратный фут подъемной поверхности воздушного змея. Воздушных змеев можно запускать при ветре, который у земли дует со скоростью более двенадцати миль в час, а поскольку средняя скорость ветра в течение года на Голубом Холме составляет восемнадцать миль в час, то редко бывают дни, когда там не летают воздушные змеи.

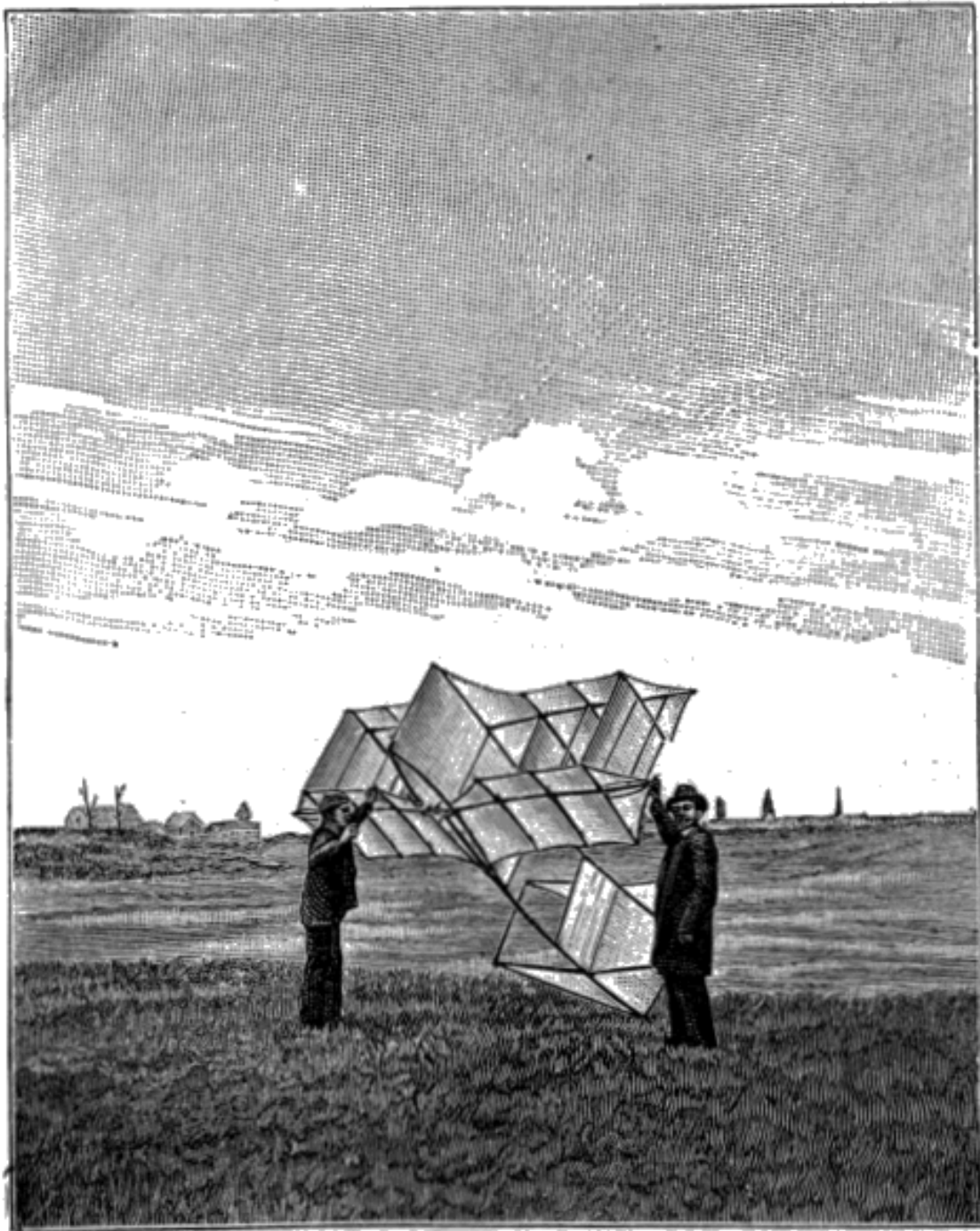


Рис. 11. Воздушный змей Ламсона с аэродинамической кривой.

Проволока, к которой прикреплены воздушные змеи, представляет собой стальную музыкальную проволоку, диаметром $\frac{32}{1000}$ дюймов, весом пятнадцать фунтов на милю и способную выдержать усилие в триста фунтов. Проволока сращивается длиной более мили с величайшей осторожностью, при этом особое внимание уделяется отсутствию резких изгибов

или пятен ржавчины, которые могли бы привести к ее разрыву. Чтобы поднять увеличивающийся вес проволоки, воздушные змеи крепятся с интервалом в несколько тысяч футов, так что угол наклона может поддерживаться настолько высоким, насколько это совместимо с безопасным рывком, и это достигается путем навинчивания на проволоку алюминиевых зажимов, к которым крепятся канаты для воздушных змеев. Из-за большей устойчивости и прочности новых воздушных змеев метеорограф подвешен непосредственно к верхнему воздушному змею. Метеорограф Ричарда, помещенный в алюминиевую клетку размером около кубического фута, весит менее трех фунтов, и для получения истинной температуры воздуха необходимо всего лишь прикрыть термометр от солнечных лучей, поскольку ветер обеспечивает циркуляцию воздуха вокруг термометра. Другой метеорограф, сконструированный мистером Фергюссоном, регистрирует скорость ветра в дополнение к трем другим элементам, и весит он не больше, чем французский прибор.

Устройство для намотки является примером того, как одно и то же устройство может служить диаметрально противоположным целям. При зондировании морских глубин провод должен быть вытянут вверх, тогда как при зондировании атмосферных высот провод должен быть вытянут в обратном направлении. Поэтому мистер Фергюссон переделал глубоководный зондирующий аппарат так, чтобы он тянулся наклонно вниз, проволока проходила через вращающийся шкив, который следует ее направлению и регистрирует на циферблате точную длину размотки. Затем проволока упирается в шкив, удерживаемый прочной спиральной пружиной, с помощью которой натяжение на нее все время фиксируется на покрытом бумагой барабане, вращаемом часовым механизмом. Теперь проволока проходит несколько раз вокруг натяжного шкива и, наконец, с небольшим натяжением наматывается на большой накопительный барабан. Когда воздушных змеев нужно спустить, натяжной блок соединяется с паровой машиной мощностью в две лошади, и проволока втягивается со скоростью от трех до шести миль в час; но когда воздушные змеи поднимаются, ремень снимается, и натяжение воздушных змеев разматывает проволоку.

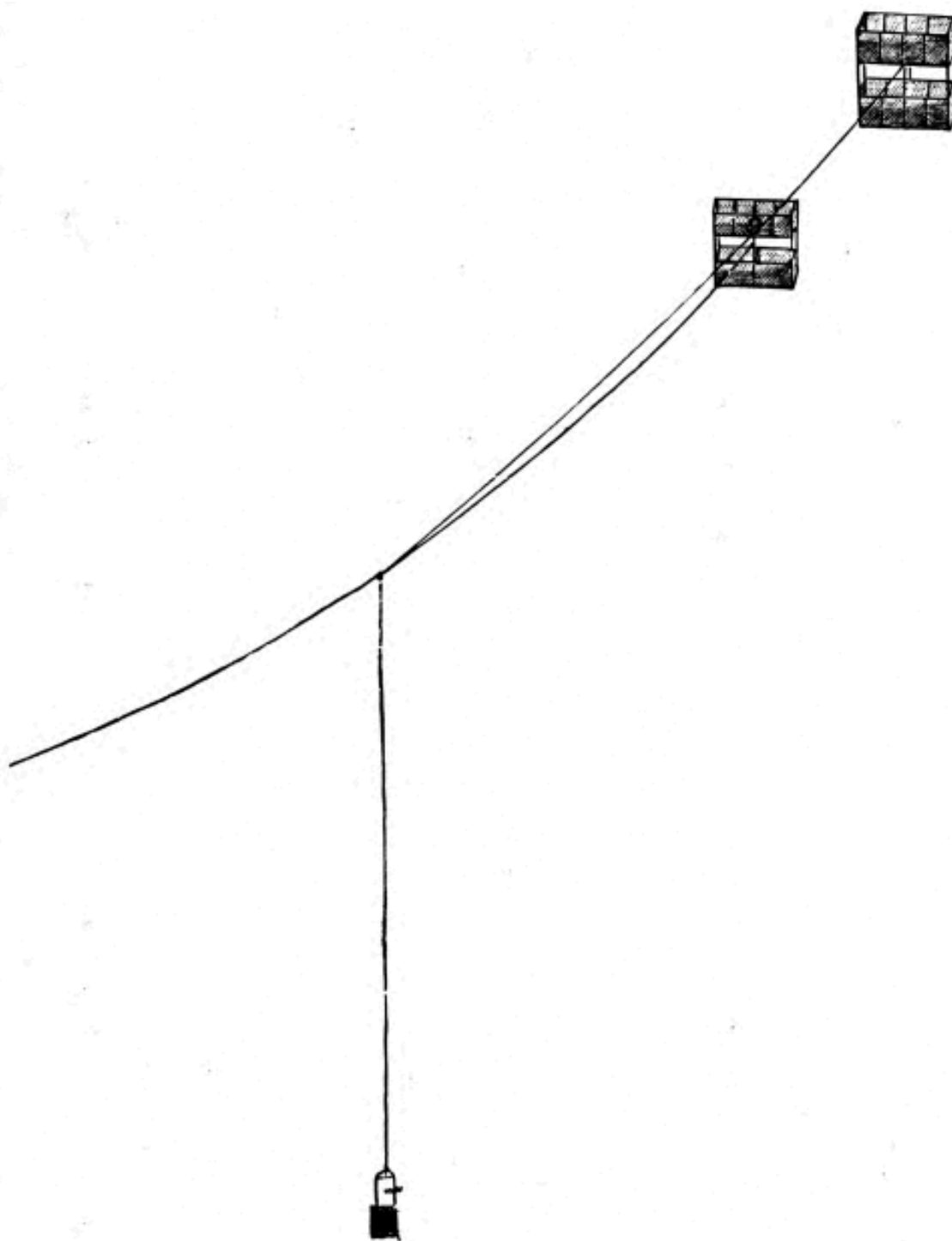


Рис. 12. Метеорограф, снятый воздушными змеями на Голубом холме.

Способ запуска воздушного змея в метеорологических целях на Блу Хилл заключается в следующем: воздушный змей, прикрепленный длинной проволокой к кольцу в основной проволоке, находится в воздухе, а метеорограф подвешен, другой воздушный змей прикрепляется к кольцу более коротким шнуром (рис. 12). Затем им позволяют подняться и разматывать проволоку до тех пор, пока угол ее наклона к горизонту не станет низким, после

чего с помощью описанных зажимов добавляются другие воздушные змеи, количество которых зависит от размеров воздушных змеев и силы ветра. После паузы на максимально достижимой высоте лебедка соединяется с паровой машиной, и воздушные змеи спускаются вниз. Паузы в самой высокой точке и при прикреплении или отсоединении воздушных змеев необходимы для того, чтобы регистрирующие приборы могли определить состояние окружающего воздуха; и поскольку в это время метеорограф почти неподвижен, измерения его угловой высоты производятся с помощью геодезиста, в то время как наблюдения по азимуту дают направление ветра на разных высотах. Отмечается время выполнения каждого углового измерения, чтобы можно было найти соответствующую точку на трассе метеорографа. По длине троса и его вертикальному углу можно рассчитать высоту метеорографа, поскольку было обнаружено, что провисание троса или его отклонение в вертикальной или горизонтальной плоскости от прямой, соединяющей воздушного змея и катушку, не приводит к ошибке, превышающей три процента, в рассчитанной таким образом высоте. Когда метеорограф скрыт облаками, высота над последней точкой, определенной тригонометрически, вычисляется по показаниям барометра по формуле Лапласа. Ночью есть только барометр, по которому можно определить высоту; ибо, хотя была предпринята попытка использовать фонарь для наблюдения, все же вскоре он стал невидимым, а если и был виден, то путался со звездами. До и после полета метеорограф подвешивают на штативе в открытом воздухе, чтобы можно было сравнить его термометр и гигрометр с эталонами.

ВЫСОТА ПОЛЕТА ВОЗДУШНОГО ЗМЕЯ НАД УРОВНЕМ МОРЯ.

(Голубой холм находится на высоте 630 футов над уровнем моря)

Год	Количество рекордов	высоты в футах		Процент рекордов, превышающих				
		среднее значение от максимального	абсолютного максимума	500 м. (1640 футов)	1000 м. (3280 футов)	1500 м. (4920 футов)	2000 м. (6560 футов)	3000 м. (9840 футов)
1894	2	1,860	2,070	50	0	0	0	0
1895	28	1,673	2,490	59	0	0	0	0
1896	86	2,772	9,327	78	28	9	4	0
1897	38	4,557	11,716	95	68	45	21	5
1898	35	7,350	12,070	100	92	80	66	20

С тех пор как стали использовать проволоку и более эффективных воздушных змеев, высота полета значительно увеличилась. Таким образом, средняя высота над холмом, достигнутая метеорографом в тридцати пяти полетах, совершенных в течение 1898 года, составляла более

мили с четвертью, тогда как средняя высота всех восхождений до 1897 года составляла около четверти мили (см. [Таблицу](#)). Средняя высота метеорографа над холмом во всех полетах в течение августа 1898 года составляла почти полторы мили, а 26 августа метеорограф был поднят на 360 футов выше, чем когда-либо прежде, его высота, определенная тригонометрически, составила 11 440 футов над Голубым холмом, или 12 070 футов надсоседним океаном. Метеорограф был подвешен к самому верхнему воздушному змею, одному из образцов Lamson, с подъемной поверхностью 71 квадратный фут, и эта площадь была увеличена в общей сложности до 149 квадратных футов за счет четырех воздушных змеев модифицированного типа Hargrave, которые были прикреплены через определенные промежутки времени к проволоке. Пять миль проволоки в воздухе весили 75 фунтов, а общий вес, включая воздушных змеев и аппаратуру, составлял 112 фунтов. Метеорограф оторвался от земли в 10:40 утра, достиг максимальной высоты в 16:15 и вернулся на землю в 8:40 вечера - подвиг, с которым человеку на горе было бы трудно сравниться. Кучевые облака пролетели на высоте трех четвертей мили от земли, и над ними воздух оказался очень сухим. На холме температура воздуха составляла 72 °, когда на высоте 11 440 футов над уровнем моря она составляла 38 °, а скорость ветра увеличилась с двадцати двух до сорока миль в час. Эти цифры дают представление о происходящем изменении атмосферных условий, но выводы, сделанные на основе полетов воздушных змеев Blue Hill, будут обсуждены в следующей главе. Однако явления атмосферного электричества, которые стали заметны с момента использования проволоки, могут быть описаны здесь. Как правило, всякий раз, когда воздушные змеи поднимаются выше тысячи семисот футов, проволока сильно заряжается электричеством, а когда достигаются большие высоты, электричество разряжается на катушке длинными и яркими искрами, часто к неудобству обслуживающего персонала. Обычно электрический потенциал увеличивается с высотой, и он наиболее велик во время снежных бурь или когда условия благоприятствуют грозам. Несмотря на его интенсивность, количество электричества в атмосфере, вероятно, недостаточно для того, чтобы использовать его сбор и хранение в практических целях.

Не следует воображать, что запуск воздушных змеев в метеорологических целях - это синекура. В Blue Hill было выполнено около двухсот полетов в любое время года и при любой погоде, при температуре от -5° до +90°, в штормовой ветер, дождь и снежную бурю, но не в грозу. Иногда воздушные змеи невидимы почти с того момента, как они покидают землю, и до своего возвращения, но когда видны верхние воздушные змеи, необходимо наблюдать за ними с помощью теодолитов каждые несколько минут. Помня, что полет на большой высоте занимает десять или двенадцать часов и часто заканчивается поздно ночью или даже продолжается до утра, становится очевидным, что работа требует навыков, энергии и настойчивости, которые были продемонстрированы моими помощниками в обсерватории Блу Хилл, проводившими полеты.

Иногда, из-за отсутствия ветра или из-за обрыва лески, воздушные змеи падают на землю, обычно целыми. Если они были видны, тригонометрические измерения на холме позволяют определить место спуска, а затем посылают за воздушными змеями и метеорографом и сматывают трос. Но ночью или когда воздушные змеи скрыты облаками, направление, в котором они падают, неизвестно, потому что азимут проволоки на катушке часто отличается от азимута воздушных змеев; поэтому прошлой осенью было преодолено несколько сотен миль дорог, тропинок, лесов и болот, прежде чем воздушный аппарат, потерянный во время ночного полета, был найден сравнительно недалеко.

Из сказанного будет очевидно, что бывшая игрушка, как было доказано, имеет огромное значение для метеорологических исследований в обсерватории Блу Хилл. В связи с достигнутым там успехом он начинает использоваться в других местах для метеорологических наблюдений. В 1898 году Метеорологическое бюро Соединенных Штатов создало семнадцать воздушных змеев, главным образом в долине Миссисипи, с намерением получать данные каждый день на высоте мили или более, с помощью которых можно составлять синоптическую карту погоды, аналогичную карте, которая сейчас составляется на основе данных с земли. Исходя из знания погодных условий, преобладающих одновременно верхних и нижних слоях воздуха, ожидалось, что прогнозы погоды могут быть улучшены, но, к сожалению, из-за слабых ветров летом было невозможно произвести достаточное количество одновременных запусков воздушных змеев для построения карты верхних слоев воздуха, и поэтому от схемы отказались. Однако полученные данные, без сомнения, предоставят ценную информацию о вертикальном градиенте температуры и т.д. При различных погодных условиях. Главные метеорологические бюро Германии и России оснащают станции воздушными змеями и воздушными шарами, а М. Тейссеренк де Борт, который снабдил свою частную обсерваторию под Парижем воздушными змеями типа Blue Hill, уже достиг больших высот. В Шотландии, которая была родиной научного управления воздушными змеями, шотландец и американец возобновили эксперименты - счастливый союз сил.

Из этих подготовительных работ следует, что резолюция Международной авиационной конференции, рекомендующая всем центральным обсерваториям использовать этот метод исследований, поскольку он имеет первостепенное значение для развития метеорологических знаний, выполняется и, по-видимому, даст важные результаты.

ГЛАВА VI

РЕЗУЛЬТАТЫ ПОЛЕТОВ ВОЗДУШНЫХ ЗМЕЕВ На BLUE HILL-БУДУЩАЯ РАБОТА

Воздушные змеи обладают рядом преимуществ перед другими методами исследования воздуха на высоте не менее 12 000 футов при наличии ветра, но их главное достоинство заключается в том, что с их помощью можно определить истинное состояние воздуха. Недостатки других методов исследования воздуха, по сравнению с воздушными змеями, таковы:

1. **Горы** не только воздействуют на прилегающий воздух, но и, отклоняя воздушные потоки, вызывают перемешивание и подъем, что создает условия, сильно отличающиеся от условий свободного воздуха.
2. **Свободные воздушные шары** в большей или меньшей степени окружены нагретым или застойным воздухом, потому что они дрейфуют по ветру, и из-за медлительности показаний термометров температура, наблюдаемая на данной высоте на воздушном шаре, обычно выше во время подъема, т.е. при переходе из теплого воздуха в холодный, чем во время спуска, когда условия меняются на противоположные. Опять же, невозможно изучить прогрессивные изменения атмосферных условий в одном месте, потому что наблюдения с дрейфующего аэростата несопоставимы с одновременными наблюдениями, сделанными на наземной станции внизу. Однако у воздушных змеев возможность совершать частые и почти

вертикальные подъемы и спуски позволяет проводить наблюдения почти одновременно в надземных слоях воздуха. Высоту воздушного змея обычно можно определить с точностью, недостижимой с помощью барометра на воздушном шаре.

3. Подвесные воздушные шары, хотя и сконструированы так, чтобы их не сносило ветром, не могут подниматься так высоко, как воздушные змеи, из-за веса и сопротивления троса, необходимого для управления ими, и даже немецкий воздушный змей-аэростат из-за своей большой поверхности вряд ли выдержал бы сильный ветер, при котором могут летать воздушные змеи.

4. Стоимость установки и эксплуатации горных станций или воздушных шаров намного выше, чем у воздушных змеев.

Исследование нижних двух миль воздушного пространства с помощью воздушных змеев, запущенных с Блу-Хилл, без сомнения, является самым полным из когда-либо проведенных в одном месте. Было установлено почти двести рекордов при любых погодных условиях, и постепенное достижение все больших и больших высот показано в таблице в предыдущей главе. Записи полетов обсуждались мистером Клейтоном; записи до февраля 1897 года, с наблюдениями Blue Hill, в Vol. xlii., Часть I., из *Анналов астрономической обсерватории Гарвардского колледжа*, и более поздних записей в двух *бюллетенях* обсерватории Блу Хилл, в которых исследуются изменения температуры и влажности с высотой и их связь с положением циклонов и антициклонов. Использование воздушных змеев для прогнозирования погоды, как было сказано, было опробовано Метеорологическим бюро Соединенных Штатов, но несомненно, что необходимы дальнейшие исследования, такие как проведенные на Блу Хилл, прежде чем будет точно известна последовательность условий на поверхности Земли и явлений, наблюдаемых в верхних слоях воздуха, чтобы последние можно было использовать при прогнозировании.

Ниже приведены некоторые выводы из наблюдений за воздушными змеями на Блу-Хилл. **Фото VIII.** является факсимиле записи баро-термогигрографа во время двух полетов 8 октября 1896 года, когда впервые была достигнута высота в полторы мили. Можно сказать, что отчетная ведомость обернута вокруг цилиндра, который поворачивается вокруг своей оси за двенадцать часов, а изогнутые линии в каждой из трех горизонтальных секций делят их на четверть часа. Нижняя часть содержит показания барометра, горизонтальные линии представляют собой высоты в метрах и футах, которые соответствуют барометрическому давлению при температуре 32 ° по Фаренгейту; в средней части - показания гигрометра на шкале относительной влажности в процентах, а в верхней части - показания термометра на шкале температур в градусах Фаренгейта и Цельсия. Можно заметить, что запись барометра перевернута, т.е. При падении давления след увеличивается, и во втором полете, когда была достигнута неожиданная высота в 8697 футов над Блу-Хилл, был превышен предел шкалы высот.

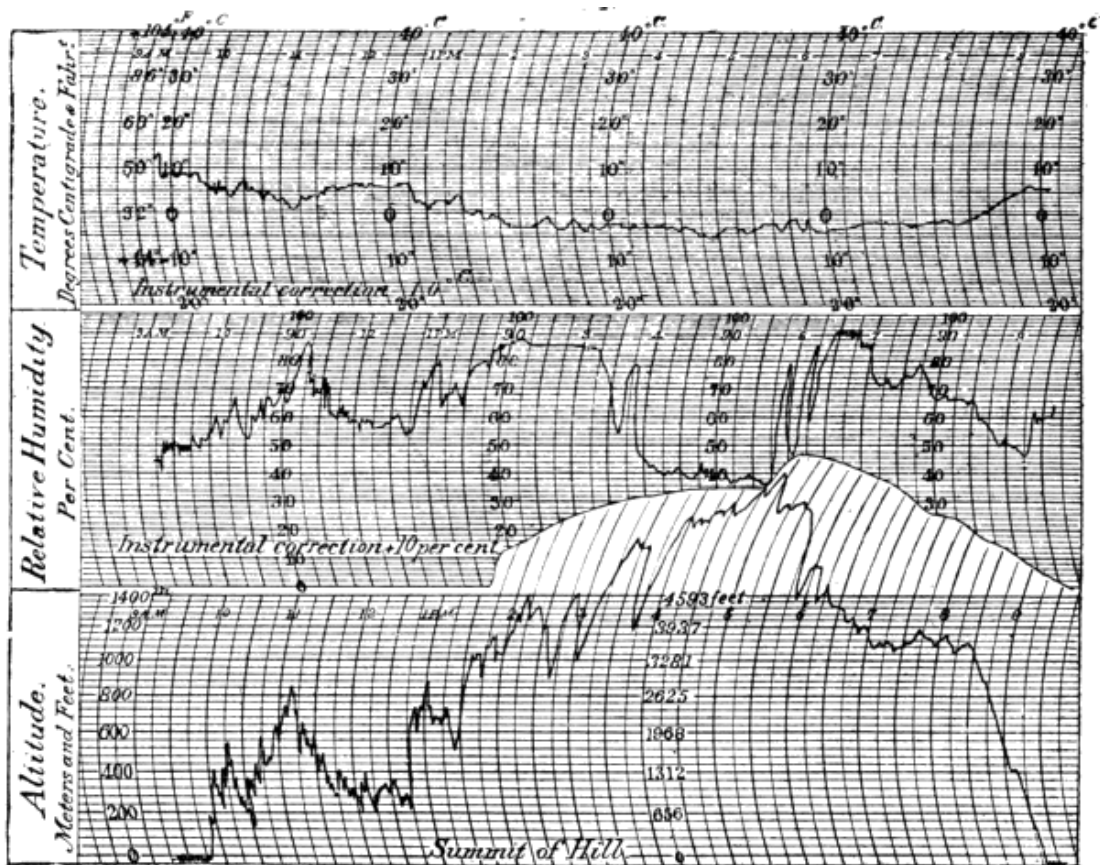


Фото VIII.—Метеограмма с полета воздушного змея 8 октября 1896 года на Блу-Хилл. Нажмите на изображение, чтобы увеличить размер.

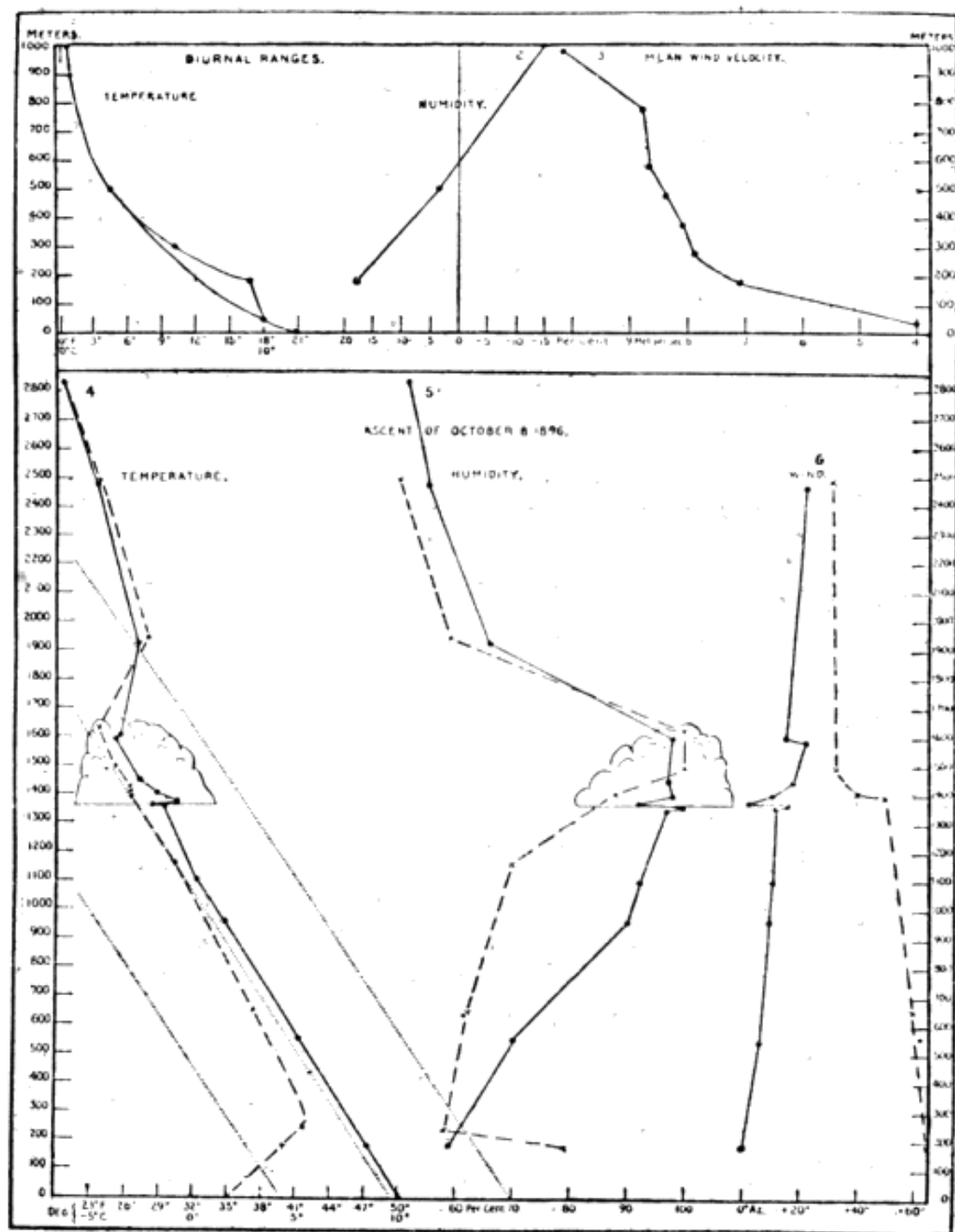


Таблица IX.— Средние изменения с высотой и изменения во время полета воздушного змея 8 октября 1896 года.

Чтобы изучить изменения этих элементов с высотой во время более высокого полета, на [Фото IX.](#), фиг. 4 и 5, температура и влажность автоматической записи нанесены по оси абсцисс, а высота над уровнем моря в метрах - по оси ординат. Для тех, кто не знаком с этой единицей

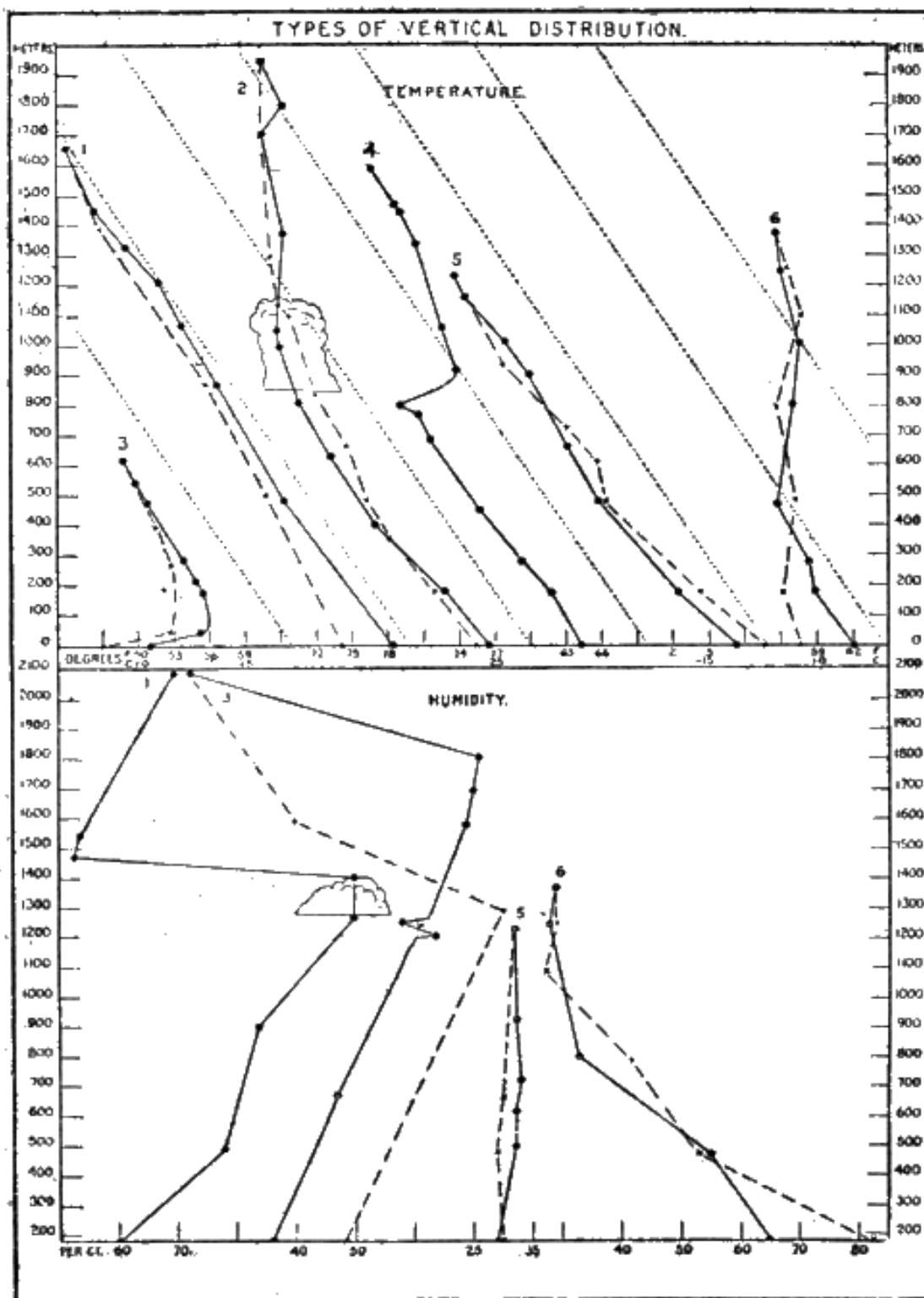
измерения длины, можно сказать, что 100 метров составляют около 330 футов, а 1600 метров приблизительно равны одной миле. Когда метеорограф поднимался, точками обозначены зарегистрированные температуры и влажности, которые соединены соответственно непрерывными линиями; когда метеорограф опускался, крестиками обозначены наблюдения, которые соединены прерывистыми линиями. Линии, наклоненные вверх влево, указывают на снижение температуры и влажности с увеличением высоты, а линии, наклоненные вправо, увеличивают температуру и влажность с увеличением высоты. Прямые пунктирные линии показывают адиабатическое снижение температуры поднимающегося сухого воздуха. Подъем был совершен в самую теплую часть дня, а спуск - по большей части после захода солнца. Две ветви температурных линий характеризуют изменение температуры с высотой, которое обычно происходит в хорошую погоду днем и ночью соответственно. Непрерывная линия, представляющая дневные наблюдения, показывает равномерное понижение температуры с адиабатической скоростью до уровня облачности. Ночью нижняя часть ломаной линии резко изгибается влево, показывая слой относительно холодного воздуха вблизи земли, вызванный радиацией. С увеличением высоты над землей температура повышается до определенной высоты, а затем происходит сравнительно равномерное понижение до уровня облаков, если они существуют; но скорость понижения с увеличением высоты, показанная в верхней части диаграммы, ночью медленнее, чем днем. По-видимому, суточное изменение температуры очень мало на больших высотах по сравнению с изменением у поверхности Земли. Относительная влажность (рис. 5) на высоте до 2000 метров изменяется обратно пропорционально температуре, и в данном случае произошло лишь незначительное изменение направления ветра (рис. 6).

Суточные изменения температуры на разных высотах.—Кривая, представляющая суточное изменение температуры воздуха на некотором расстоянии над землей, вероятно, аналогична кривой, представляющей изменение вблизи земли, за исключением того, что ее амплитуда меньше. Если это верно, то суточная скорость понижения за данное время на любых двух уровнях будет пропорциональна суточным диапазонам температуры на этих двух уровнях. На практике невозможно удерживать воздушного змея на одном и том же уровне в течение двадцати четырех часов; следовательно, суточные диапазоны для разных уровней должны определяться путем сравнения скоростей повышения или понижения температуры за данное время со скоростями, полученными из записей вблизи земли, сделанных одновременно с приведенными выше. На [табличке IX](#), [рис. 1](#), результаты для шести станций, т.е. воздушного змея на высоте 1000 и 500 метров, Эйфелевой башни в Париже (300 метров), вершины Голубого холма, его основания и долины (200, 50 и 15 метров соответственно), соединены, и через них проведена плавная кривая. Кривая проходит примерно через все наблюдаемые и рассчитанные диапазоны, за исключением одного на вершине Блу-Хилл, который слишком велик. Очевидно, это происходит потому, что инсоляция и радиация, действующие через почву холма, нагревают и охлаждают воздух в большей степени, чем свободный воздух нагревается и охлаждается на той же высоте, и это должно быть верно на каждой горной станции. Сглаженная кривая также проходит немного левее данных для Эйфелевой башни, указывая на то, что диапазон там примерно на 1 ° больше истинного диапазона из-за нагрева и охлаждения Башни. Из этого следует, что суточный диапазон температур быстро уменьшается с увеличением высоты в свободном воздухе и в среднем почти исчезает на высоте 1000 метров.

Показания анемометра показывают, что, как правило, ветер неуклонно усиливается по мере взлета воздушных змеев, но наибольшее усиление наблюдается между Бостоном и вершиной

Блу Хилл, вероятно, из-за замедления низких ветров из-за контакта с землей. Результаты приведены на [табличке IX](#), [рис. 3](#) вместе со средней скоростью ветра на Блу Хилл (209 метров) и скоростью на башне в Бостоне (60 метров). Отдельные записи воздушного змея-анемометра сильно различаются, поскольку иногда скорость ветра уменьшалась с высотой, а в другие моменты она увеличивалась так быстро, что воздушные змеи не могли подняться выше. Несколько раз, когда воздушные змеи переходили из одного течения в другое, имеющее другое направление и другую температуру, ветер внезапно усиливался и был сильнее между двумя течениями, чем над или под этой плоскостью.

Суточные изменения влажности на разных высотах.— Обнаружено, что с приближением ночи влажность на высоте 1000 метров уменьшается, в то время как у земли она увеличивается. Это согласуется с данными о кучевых облаках, которые формируются днем на высоте от 1000 до 2000 метров и исчезают ночью, что явно указывает на повышение влажности днем и снижение ночью. Если предположить, что тренд кривой влажности на высоте 1000 метров противоположен ее тренду у земли, то результаты кайтметеоролога показывают, что минимальная влажность будет в самое холодное время, а максимальная - в самое теплое время суток. Среднесуточные диапазоны для разных высот приведены на [рисунке IX](#), [рис. 2](#). Часть кривой слева от нулевой линии показывает диапазон на разных высотах с минимальной влажностью около самого теплого времени суток, в то время как часть справа от нуля показывает диапазоны на разных высотах с минимальной влажностью в самое холодное время суток.



Табличка X.—Изменения в зависимости от высоты, зафиксированные воздушными змеями на Голубом холме.

Типы изменения температуры с высотой.—Когда записи температуры и влажности, сделанные в воздухе кайтметеорологом и на станциях вблизи земли, наносятся на график в

зависимости от высоты, оказывается, что их легко разделить на несколько типов. На [фото X](#). Тип 1 представляет собой снижение температуры в большинство ясных дней от земли до высоты в милю или более, когда нет облаков. Непрерывная линия, построенная по записям восхождения, представляет дневные условия, а прерывистая линия, построенная по записям спуска, представляет ночные условия. Эта кривая показывает, что с увеличением высоты температура падает равномерно в течение дня и примерно с адиабатической скоростью, представленной пунктирными линиями. Падение температуры с увеличением высоты ночью происходит медленнее, чем днем, и фактически, от поверхности земли до высоты в несколько сотен метров температура часто повышается с высотой, так что воздух на высотах от 300 до 500 метров может быть значительно теплее, чем у земли. Это было показано при спуске 8 октября 1896 года и находится в Типе 3.

Когда во время полета пересекаются облака, температурная кривая принимает вид типа 2. Непрерывная кривая строится по записям подъема; ломаная кривая - по записям спуска, оба случая происходят в дневное время. Температура в ненасыщенном воздухе падает с адиабатической скоростью до тех пор, пока не будет достигнуто основание кучевого облака. В облаке он падает с меньшей скоростью, вероятно, рассчитанной физиками как адиабатическая скорость для воздуха, в котором происходит конденсация. Над облаками понижение температуры происходит очень медленно.

Тип 3 - это состояние, которое сохраняется в течение дня и ночи, и оно напоминает ночную форму типа 1. Температура очень быстро повышается на небольшом расстоянии от земли, а затем падает с увеличением высоты несколько медленнее, чем адиабатическая скорость. Повышение температуры у земли с увеличением высоты более заметно после захода солнца, чем в дневное время.

Тип 4 был проиллюстрирован восхождением 8 октября. Такое распределение температуры вызвано более теплым потоком, перетекающим в более холодный воздух, который очень часто встречается на малых высотах в атмосфере и, вероятно, обычно существует на некоторой высоте, большой или малой. Недавние наблюдения показывают, что этот тип отражает нормальное состояние атмосферы при любой погоде. Часто наблюдается два или более резких повышения температуры на разной высоте, так что нанесенные на график данные напоминают перевернутые ступеньки лестницы. В течение дня температура снижается с адиабатической скоростью ($1^{\circ} \cdot 8$ на 100 метров) от земли до высоты нескольких сотен метров, затем происходит внезапное повышение температуры на следующих ста или двухстах метрах, а выше этого - медленное понижение температуры с увеличением высоты, обычно намного меньшее, чем адиабатическая скорость. Как правило, облака находятся вблизи плоскости встречи теплого и холодного течения.

Обратное типу 4, то есть внезапное понижение температуры из-за более холодного течения, перекрывающего более теплое, вероятно, невозможно, потому что более холодный воздух из-за своего большего веса немедленно начал бы опускаться, а более теплый воздух поднимался бы. Это должно вызвать падение температуры с адиабатической скоростью от поверхности к вершине более холодного течения и, вероятно, является источником "волны холода", показанной в Типе 5. Как сплошные, так и ломаные кривые (представляющие подъем и спуск) показывают падение температуры с адиабатической скоростью ненасыщенного воздуха примерно с 500 метров до достигнутой высшей точки. На высоте до 500 метров снижение

температуры происходит быстрее, чем адиабатическая скорость, из-за быстрого поступления более холодного воздуха сверху, в результате чего воздух, поднимающийся от земли, охлаждается при контакте, а также при расширении, а также потому, что воздух нагревается сильнее обычного при контакте с землей, которая в этих условиях аномально теплая. Это особая характеристика кривой типа "холодная волна" в дневные часы. Ночная форма типа 5, несмотря на чрезмерное излучение с земли через сухой воздух, демонстрирует быстрое снижение температуры с увеличением высоты над уровнем моря.

Тип 6 демонстрирует менее распространенную, но интересную форму вертикального распределения температуры, при которой температура примерно одинакова на расстоянии от 400 до 1400 метров и более. На высоте до 400 метров температура падает с увеличением высоты в течение дня и повышается с увеличением высоты ночью. Эти последние условия можно легко объяснить воздействием инсоляции и радиации вблизи земли. Утром, если температура воздуха будет такой же на высоте 1000 метров и более, нагрев земли солнцем вызовет восходящие потоки до самой теплой части дня. Этот воздух, охлаждаясь за счет расширения с адиабатической скоростью, поднимется примерно на 440 метров, прежде чем достигнет средней температуры верхнего воздушного столба. Ночью охлаждение происходит рядом с землей за счет излучения и постепенно передается вверх на несколько сотен метров за счет теплопроводности, таким образом, температура повышается с увеличением высоты до восхода солнца. В результате описанных условий очевидно, что в определенные дни дневной диапазон температур практически не ощущается выше 500 метров.

Типы изменения относительной влажности воздуха с высотой.— Как и в случае с температурными типами, непрерывные линии представляют данные о подъеме, а прерывистые линии - данные о снижении, как правило, при изменяющихся условиях. Линии, наклоненные вверх влево, показывают уменьшение влажности, а вправо - увеличение.

Тип 1 можно назвать нормальным типом кривой при наличии облаков. Разновидность этого типа была встречена при восхождении 8 октября 1896 года, и она отличалась от той, что показана сейчас, тем, что в ее верхней части указано падение влажности, а не повышение. Эти два типа влажности можно рассматривать как нормальное изменение влажности при изменении высоты над уровнем моря в пасмурную или переменную-облачную погоду. Влажность неуклонно повышается к основанию облака, затем в облаке наступает полное насыщение, а над ним происходит внезапное понижение влажности при поступлении сухого воздуха над облаком, в который не проникли восходящие потоки с земли.

Тип 3 - это форма кривой при ясной погоде, при которой влажность увеличивается до достижения определенной высоты, вероятно, на верхних границах потоков, поднимающихся от земли. Выше этой высоты влажность быстро снижается.

Тип 5 также является формой для ясной погоды и соответствует температурному типу "холодная волна", также пронумерованному 5. Очень сухой нисходящий воздух смешивается с воздухом, ставшим влажным при подъеме, и в результате получается почти одинаковая относительная влажность на разных высотах, хотя абсолютная влажность уменьшается из-за снижения давления и температуры. При типе 6 как относительная, так и абсолютная влажность быстро снижается, этот тип совпадает с температурой, Тип 6.

В течение недели с 5 по 11 сентября 1897 года на Голубом холме ежедневно совершались полеты воздушных змеев. Дважды воздушные змеи поддерживались в воздухе, и в течение большей части суток были получены непрерывные записи. Эти записи представляют собой пример небольших суточных изменений температуры в свободном воздухе на небольших расстояниях над землей, которые были выведены из средних изменений в разные часы и на разных высотах. С 14:00 пятого до 14:00 шестого числа высота самописных приборов колебалась между 500 и 1000 метрами над уровнем моря, составляя в среднем около 700 метров и практически не отклоняясь от этой высоты в течение большей части ночи. Время, когда воздушный змей-метеорограф пересекал 700-метровую отметку при подъеме и спуске, определялось по его барографическому следу, а синхронные температуры и влажности считывались по записям его термографа и гигрографа. Результаты были нанесены на [таблицу XI](#), [фиг. 1](#) и [2](#) вместе с температурами, зарегистрированными одновременно на станциях обсерватории на вершине и в долине, и влажностью на вершине. [Рис. На рис. 1](#) показано, что суточные колебания температуры, хорошо заметные на нижних уровнях, очень незначительны или полностью исчезают на высоте 700 метров. [Рис. 2](#) показывает, что динамика относительной влажности на высоте 700 метров прямо противоположна по фазе той, которая была зарегистрирована на более низких уровнях, поскольку на высоте 700 метров минимальная влажность была зарегистрирована ночью, а максимальная - днем, в то время как на холме преобладали противоположные условия. Повторяющиеся полеты воздушных змеев указывают на то, что это нормальные условия на двух уровнях.

На [табличке XI](#), [рис. 3](#), нанесена кривая, основанная на часовых показаниях термографа на станции Blue Hill valley (пятнадцать метров) в течение недели, а также кривая, соединяющая температуры, регистрируемые кайтметеорологом один или два раза в день в течение той же недели на высоте 500 метров, полученные описанным способом или вычисленные по адиабатическому изменению. Все ночные записи показывают, что ночью на высоте 500 метров было значительно теплее, чем у земли, за исключением прохладной волны седьмого и восьмого числа. Кроме того, кривые на [рис. 3](#) указывают на контроль температуры поверхности в течение дня с помощью указанных выше параметров. Например, седьмого числа произошло явное сглаживание дневной кривой, очевидно, потому, что, когда температура на земле поднялась на 10 ° выше, чем на высоте 500 метров, воздух находился в неустойчивом равновесии, и более холодный воздух опустился, чтобы занять место приземного воздуха, так что его температура не могла подняться выше. На десятом этапе температура на высоте 500 метров была значительно выше, чем среднее значение за день у земли, и воздух у земли ни в каком объеме не приобретал неустойчивого состояния до самой теплой части дня, так что суточная кривая на нижней станции образует резкий пик.

дистанциях 500 и 1000 метров, нанесены на кривые, которые необходимо было дополнить путем экстраполяции. Видно, что диапазон температур от гребня теплой волны до гребня холодной волны на высоте 500 метров гораздо больше, чем у земли. На высоте 1000 метров дальность действия кажется немного большей, чем на высоте 500 метров, и гребни теплых и холодных волн появляются последовательно раньше, чем у земли. При приближении и до прохождения гребня холодной волны воздух наверху холоднее, чем у земли, разница, по-видимому, заключается в адиабатическом охлаждении восходящего воздуха. После прохождения гребня холодной волны температура наверху повышается гораздо быстрее, чем у земли, а на гребне теплой волны воздух на высоте 500 метров примерно на 10° теплее, чем среднесуточная температура у земли. Во многих полетах воздушных змеев разница оказалась еще больше, чем эта. Если взять среднюю температуру за сутки, то видно, что средняя температура у земли в течение недели или более примерно такая же, как и на высоте 500 метров. [Рис. На рис. 5](#) показано изменение вертикального распределения температуры во время наступления теплой волны восьмого и раннего утра девятого числа, как определено четырьмя подъемами, кульминацией которых стали 11:00, 9:00, 11:00 и 4:00. Линии 59° , 62° , 65° и 68° показывают, что в вышине наблюдалось постепенное повышение температуры, которое распространялось вниз на 200 метров, или на вершину Блу-Хилл. Облака образовались на уровне самой низкой температуры, и они также опускались, пока не закрыли вершину холма.

[Табличка XII.](#) представляет собой факсимиле метеограммы во время полета воздушного змея 15 октября 1897 года, нижняя часть показывает показания барометра на шкале высот в метрах, средняя часть - показания гигрометра, а верхняя - показания термометра на шкале градусов Цельсия. Температура следовала нормальному изменению, которое заключается в следующем: в течение дня до определенной высоты, которая варьируется в зависимости от различных условий, наблюдается снижение почти с адиабатической скоростью $1^{\circ} \cdot 8 \text{ F.}$ на сто метров. Выше этой высоты воздух внезапно становится теплее, а затем охлаждается при подъеме со скоростью, несколько меньшей адиабатической. Ночью наблюдается заметная инверсия температуры между землей и 200 или 300 метрами.

KITE METEOROGRAM OF OCT. 15, 1897.

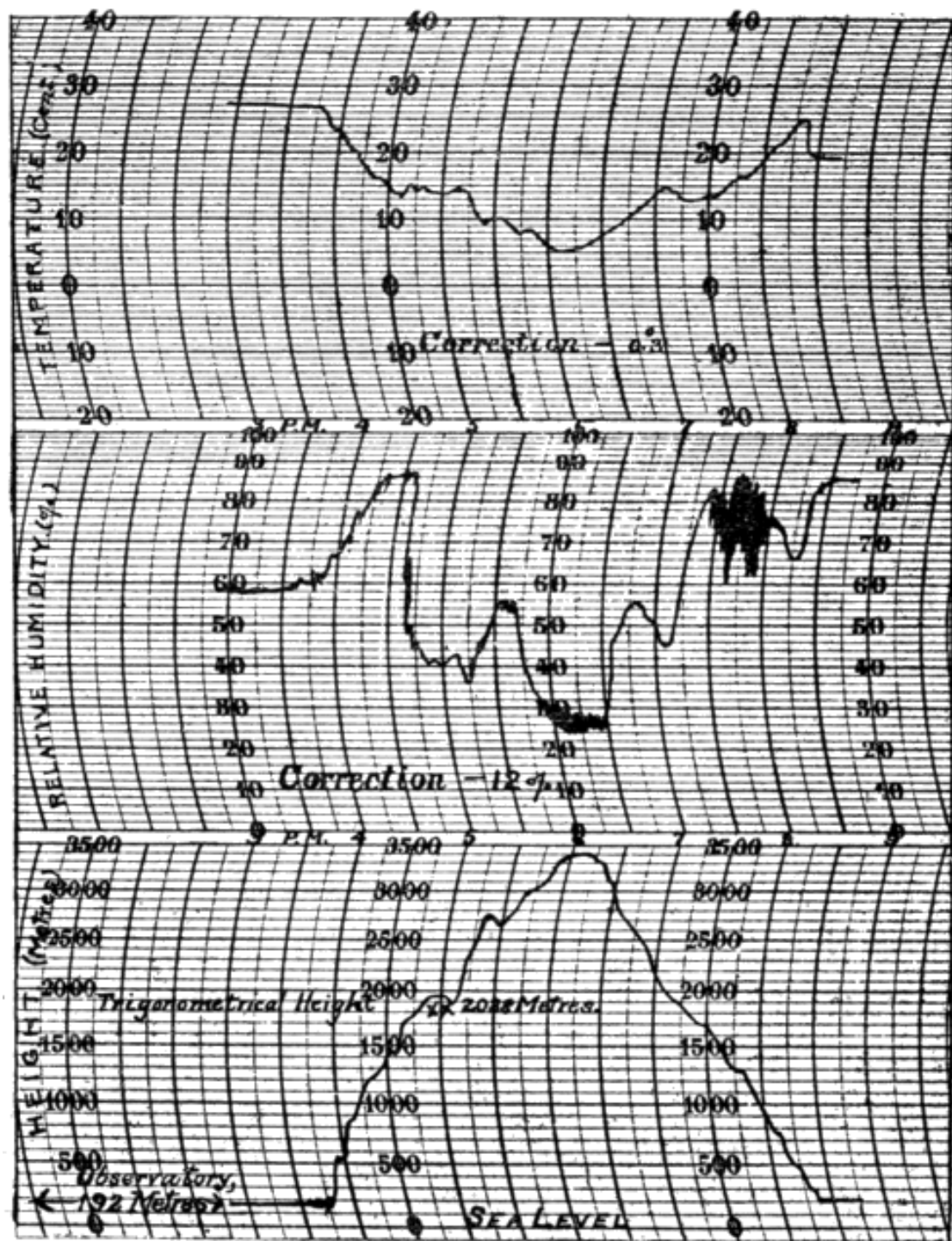


Фото XII.—Автоматические записи во время высокого полета воздушного змея на Блу Хилл.

При превышении этого значения температура снижается с довольно равномерной скоростью, но медленнее, чем адиабатическая. Хотя облаков видно не было, тем не менее относительная

влажность воздуха значительно возросла, как во время подъема, так и при спуске, около 1500 и 2700 метров, что примерно соответствует высотам, на которых обычно образуются кучевые и высоко-кучевые облака.

В течение сентября 1898 года было совершено четыре полета воздушного змея в течение четырех дней подряд, когда антициклон и циклон проходили почти над Блу-Хилл. Это редкое явление, и механизм этих явлений был соответственно изучен м-ром Клейтоном, некоторые выводы которого сейчас будут приведены, проиллюстрированные на [табличке XIII](#). Фиг. На [1](#) и [2](#) приведены графики температуры в зависимости от высоты 21 сентября во время антициклона и 22 сентября, когда атмосферное давление падало, полные линии, как и на предыдущих диаграммах, указывают наблюдения во время подъемов, а пунктирные линии - наблюдения во время спусков. Видно, что с земли все линии наклоняются вверх влево, указывая на понижение температуры, до определенной высоты, когда линии резко изгибаются вправо, показывая внезапное повышение температуры. Выше этого уровня температура снова падает, но медленнее, чем на более низких уровнях. Общая распространенность этого явления была отмечена Уэлшем во время его восхождений на воздушном шаре в Англии в 1854 году, а высокие полеты воздушных змеев на Блу-Хилл показывают, что оно очень часто встречается ниже 2000 метров. Плоскость повышенной температуры обычно определяет высоту вершин кучевых и страто-кучевых облаков. Выше 2000 метров другие внезапные повышения температуры наблюдаются во время самых высоких полетов воздушных змеев.

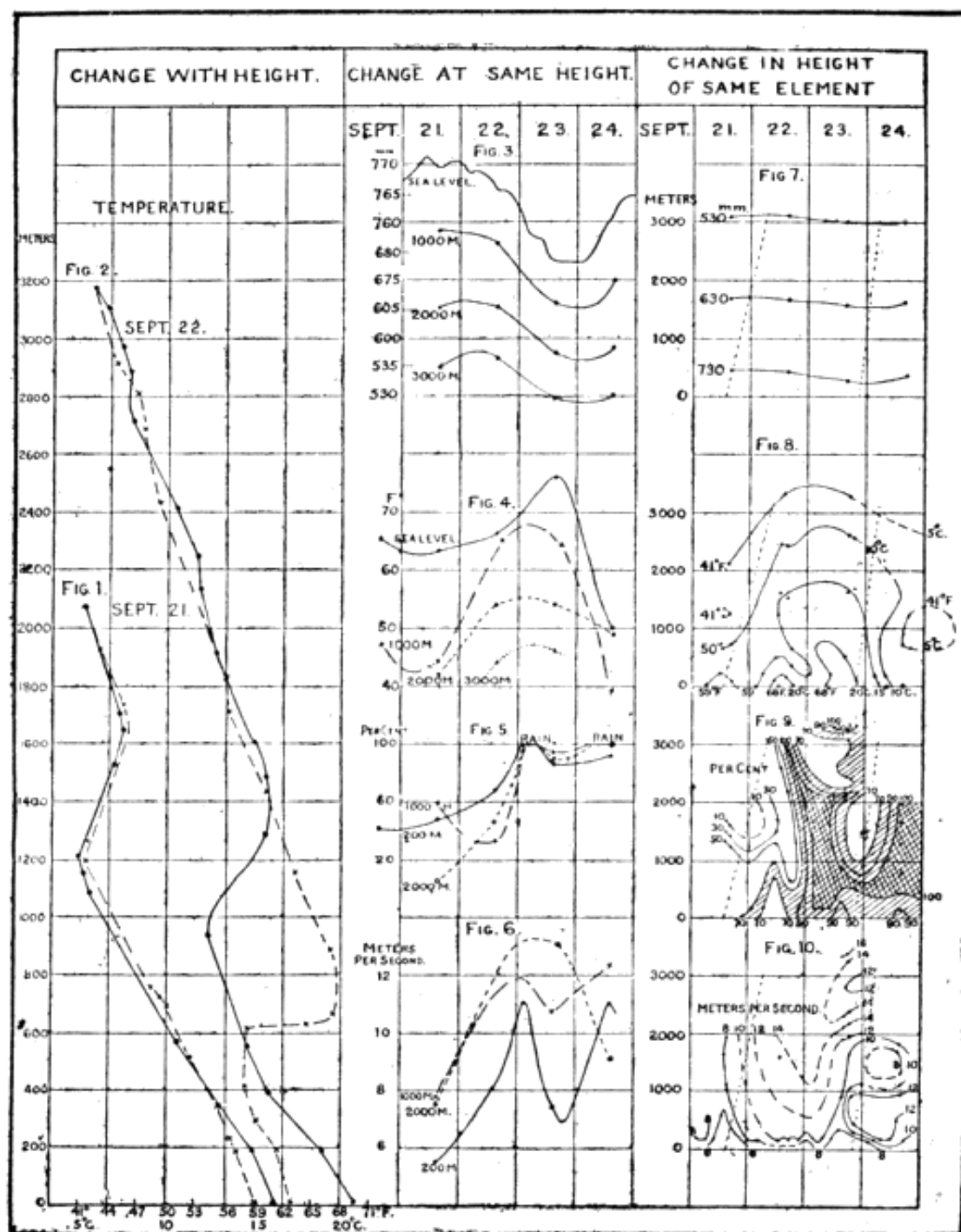


Фото XIII.—Результаты полетов воздушных змеев на Блу Хилл во время антициклона и циклона самки.

Нажмите на изображение выше, чтобы увеличить.

На рис. С3 по 6 показаны изменения в различных элементах в течение четырех дней на некоторых из следующих уровней, а именно. вблизи уровня моря, 200, 1000, 2000 и 3000 метров. Рис. 3 показаны изменения в показаниях барометра на четырех уровнях, из которых видно, что наибольшее падение давления было вблизи уровня моря.

На рис. 4 показаны изменения температуры на разных уровнях и указано, что изменения носили одинаковый характер на высоте до 3000 метров. Наибольший не суточный диапазон температур наблюдается на высоте 1000 метров, и он уменьшается как на более высоких, так и на более низких уровнях.

На рис. 5 показаны изменения относительной влажности на высоте 200, 1000 и 2000 метров. Кривые показывают, что наибольший диапазон влажности был на высоте 2000 метров. Там относительная влажность повысилась с почти нулевой во время антициклона двадцать первого числа до насыщенности на том же уровне во время циклона. На дистанции 200 метров изменение аналогично изменению на дистанции 2000 метров, но меньше по величине. На высоте 1000 метров относительная влажность падала до двадцать второго, но затем быстро повысилась, показывая, что очень сухой воздух на высоте 2000 метров двадцать первого числа опустился до 1000 метров двадцать второго.

На рис. 6 показано изменение скорости ветра на различных уровнях. Наблюдалось усиление ветра на всех уровнях с момента прохождения антициклона до прохождения циклона. Минимум ветра на высоте 200 метров был в антициклоне, со вторичным минимумом во время прохождения центра циклона.

На рис. 7 по 10 показаны изменения высоты изо дня в день при равных условиях на разных уровнях. Рис. 7 показывает изменение уровня изобар, которое, хотя и очень небольшое, является наибольшим на нижних уровнях. Светлые прерывистые линии на рис. 7 и последующие цифры обозначают оси антициклона и cyclone. То, что ось циклона была наклонена назад и что высокое давление возникло позже при высоких уровнях, чем при низких, было подтверждено наблюдениями за ветром двадцать первого числа.

На рис. 8 показаны высоты, на которых были зафиксированы одинаковые температуры в последующие дни. Поскольку изотермы повышались до двадцать третьего числа, температура воздуха на высоте до 3000 метров была выше в день циклона, чем в день антициклона. Предыдущие высокие пролеты указывают на то, что это нормальное состояние для движущихся циклонов и антициклонов на востоке Соединенных Штатов. Поскольку светлые прерывистые линии представляют оси антициклона и циклона высотой до 3000 метров, видно, что на этом уровне температура в месте максимального давления, вероятно, выше, чем в месте минимального давления, хотя это не верно для вертикального столба воздуха над землей.

На рис. 9 приведены значения одинаковой влажности в последующие дни, области с повышенной влажностью и облачностью обозначены перекрестной штриховкой, а с меньшей влажностью - одиночной линейкой. Согласно законам термодинамики, не заштрихованные кривые должны представлять нисходящие токи, а заштрихованные участки - восходящие. В первом случае повышенное тепло и более низкая относительная влажность воздуха образуются при спуске на меньшую высоту; в последнем случае охлаждение, повышение относительной влажности и конденсация образуются при расширении при подъеме на большую высоту. Следовательно, обозначены две области опускающегося воздуха: одна в центре антициклона, другая в центре циклона.

На рис. 10 показано изменение высоты линий равной скорости ветра. При восходящих течениях и осадках высокие скорости ветра были обнаружены на низких уровнях из-за увеличенного барометрического градиента, в то время как при нисходящих течениях в антициклоне и центре

циклона высокие скорости были обнаружены только на больших высотах. Изучение этих данных показывает, что циклонические и антициклонические циркуляции, наблюдаемые на этой широте, не охватывают никаких движений воздуха на высотах более 2000 метров, за исключением перед циклоном, когда кажется, что воздух поднимается на большую высоту. Выше 2000 метров, вероятно, существуют другие слабые циклоны и антициклоны, или вторичные, центры которых расположены в местах, отличных от тех, что находятся на поверхности Земли, и создают иную циркуляцию ветра. Наблюдения за перистыми облаками в Блу-Хилл указывают на то, что на их уровне существует циклоническая циркуляция над антициклоном, видимым у поверхности Земли. Неглубокость наших антициклонов можно было бы вывести из большой разницы в скорости общего атмосферного дрейфа, поскольку, поскольку скорость общего дрейфа с запада более чем в тридцать раз больше на высоте 10 000 метров, чем на высоте 200 метров, циркуляция на большой глубине не могла бы продолжаться долго. Циклоны и антициклоны, по-видимому, являются всего лишь вторичными явлениями в огромных волнах теплого и холодного воздуха, которые периодически обрушиваются на Соединенные Штаты.

Происхождение циклонов и антициклонов, пожалуй, является наиболее важной проблемой, остающейся для метеорологических исследований. Теория о том, что они вызваны разницей температур в соседних воздушных массах, или, как ее еще называют, конвекционная теория американских метеорологов Эспи и Феррела, опровергается наблюдениями за горами в Европе, собранными доктором Ханном из Вены. Если этот вопрос может быть решен с помощью воздушных змеев, как, по-видимому, предвещают только что изложенные результаты, то в науке метеорологии будет заложен еще один краеугольный камень и будет установлен статус воздушного змея как инструмента исследования. Воздушный змей выходит из строя, когда у земли мало ветра или его вообще нет, но в таких случаях представляется возможным поднять воздушного змея в воздух, где обычно есть ветер, прикрепив его к небольшому воздушному шару, который после того, как воздушный змей сможет самостоятельно держаться, отсоединяется автоматически. Хотя высота, на которую могут подниматься воздушные змеи, ограничена, и, вероятно, этот предел приближается, судя по меньшему набору высоты в недавних полетах, все же представляется разумным ожидать, что при благоприятных условиях будет достигнута высота не менее трех миль.

Помимо подъема описанных метеорологических инструментов, воздушные змеи могут нести оборудование для других исследований в открытом воздухе, таких как измерение атмосферного электричества и сбор проб воздуха для исследования на наличие космической пыли и бактерий. Как уже говорилось, камеры поднимались воздушными змеями, и с целью фотографирования верхних слоев облаков для обсерватории Блу Хилл конструируется очень легкая автоматическая камера, по принципу аналогичная аппарату М. Кайле для фотографирования земли с воздушного шара.

В этой книге можно только упомянуть использование воздушного змея в качестве самолета, и, возможно, будет достаточно сказать, что если двигатель, прикрепленный к воздушному змею, может с помощью крыльев или винтов двигать его против ветра, то в поддерживающей веревке нет необходимости, и мы получим летательный аппарат, который, как говорит профессор Лэнгли, скоро будет реализован. Поверхность нашего земного шара достаточно хорошо исследована; исследование атмосферы с помощью воздушных шаров и воздушных змеев будет продолжать добиваться больших успехов в течение последнего года столетия, и в конце

двадцатого века мы можем с уверенностью ожидать, что, поскольку моря сейчас являются средством передвижения, воздушный океан также перейдет во владения человека.

Richard Clay & Sons, Limited, Лондон и Бангей.

Примечания переписчика

Текст, представленный здесь, по сути, соответствует тексту оригинального печатного издания. Применен список исправлений (ИСПРАВЛЕНИЯ), прилагавшийся к оригиналу. Также была допущена одна дополнительная опечатка (см. Ниже). Возможно, были внесены некоторые незначительные исправления (пропущена точка, добавлены запятые и т.д.), Которые здесь подробно не описаны. В оригинальной публикации несколько рисунков и табличек были размещены в середине абзацев. Здесь большинство из них были перемещены между абзацами. В списке иллюстраций и любых других ссылках на страницы по-прежнему указан номер страницы в исходном месте.

Типографские ошибки

Страница	Исправление
128	общезначимое => общезначимое